Collection
études et recherches

L'implantation de MEDEE 3 au Québec : la méthodologie et les résultats

Communications présentées dans le cadre du séminaire MEDEE-MARKAL tenu le 27 octobre 1983 à Montréal

Août 1984

Québec

-4046/

L'implantation de MEDEE 3 au Québec : la méthodologie et les résultats

Communications présentées dans le cadre du séminaire MEDEE-MARKAL tenu le 27 octobre 1983 à Montréal

Août 1984

-4046/

Dépôt légal—1'trimestre 1985
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN: 2-550-11817-0

Le 27 octobre 1983 se tenait, à Montréal, le séminaire MEDEE-MARKAL, organisé conjointement par l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales et par le ministère de l'Energie et des Ressources. Au cours de ce séminaire, consacré à l'évaluation à long terme de la demande et de l'offre d'énergie au Québec, étaient présentées un certain nombre de communications concernant l'application de la méthode MEDEE au Québec (méthode visant à évaluer la demande d'énergie à long terme), ainsi que les premiers résultats obtenus. Le document ci-après regroupe les cinq articles tirés de ces communications.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
Séminaire MEDEE-MARKAL - Programme officiel	1
Un outil d'analyse de la demande énergétique à long terme: la méthode MEDEE et son application au cas du Québec - Jean-Pierre Pellegrin	1
L'utilisation de la méthode MEDEE dans le monde - Bertrand Château	31
Le transport dans MEDEE-3 Québec - Roger Corbeil	47
Les secteurs résidentiel et commercial dans MEDEE-3 Québec - Gaétan Lafrance et Jean-Pierre Surprenant	71
Le secteur industriel dans MEDEE-3 Québec - Gaétan Lafrance et Jean-Pierre Surprenant	95

*

5-40667

SÉMINAIRE
MÉDÉE-MARKAL
PROGRAMME OFFICIEL

9 h Discours d'ouverture par M. Richard Pouliot, sous-ministre associé à l'Énergie, ministère de l'Énergie et des Ressources.

Première séance: La méthode MÉDÉE

Président: M. Gilles Tousignant, directeur des Études économiques et financières, Direction générale de l'analyse économique et financière, (D.G.A.), ministère de l'Énergie et des Ressources.

9 h 15 «L'approche MÉDÉE et son application dans le monde», par M. Bertrand Château, directeur, Institut économique et juridique de l'énergie, Grenoble.

10 h «Le contexte socio-économique à long terme et les principaux résultats sur la demande d'énergie», par M. Jean-Pierre Pellegrin, directeur général de l'Analyse économique et financière, ministère de l'Énergie et des Ressources.

10 h 30 Pause café

10 h 45 «Le système urbain: méthodologie et résultats», par M Gaétan Lafrance, agent de recherche, Institut national de la recherche scientifique — Énergie.

11 h 15 «Le système industriel: méthodologie et résultats», par M. Gaétan Lafrance, agent de recherche, Institut national de la recherche scientifique — Énergie.

11 h 45 «Le système des transports: méthodologie et résultats», par M. Roger Corbeil, responsable de groupe de l'analyse quantitative et de l'information statistique, D G.A., ministère de l'Énergie et des Ressources.

12 h 15 Dîner

Deuxième séance: La méthode MARKAL

Président: M. Gilles Tousignant, directeur des Études économiques et financières, Direction générale de l'analyse économique et financière, (D.G.A.), ministère de l'Énergie et des Ressources.

14 h «Programmation mathématique et modélisation énergétique», par M. Yves Smeers, C.O.R.E., Université Louvain-la-Neuve, Belgique.

14 h 45 «MARKAL-Québec», méthodologie et résultats», par M. Claude Berger, chercheur du GERAD, École des Hautes Études Commerciales.

15 h Pause café

15 h 15 «Couplage MÉDÉE-MARKAL», par M. Alain Haurie, directeur du GERAD, École des Hautes Études Commerciales.

16 h Table ronde — Discussion sur l'utilisation des modèles MÉDÉE et MARKAL comme outils de planification énergétique.

Modérateur: M. Alain Dubuc, journaliste aux pages économiques du journal «La Presse».

Participants: M. Bertrand Château, directeur, Institut économique et juridique de l'énergie, Grenoble.

M. Peter L. Miles, économiste en chef & directeur, Direction de l'Économique, Office national de l'énergie, Ottawa.

M. Richard Pouliot, sous-ministre associé à l'Énergie, ministère de l'Énergie et des Ressources.

M. Yves Smeers, C.O.R.E., Université Louvain-la-Neuve, Belgique.

17 h 30 Cocktail offert par le ministère de l'Énergie et des Ressources et l'École des Hautes Études Commerciales.

UN OUTIL D'ANALYSE DE LA DEMANDE ENERGETIQUE A LONG TERME: LA METHODE MEDEE ET SON APPLICATION AU CAS DU QUEBEC

par Jean-Pierre Pellegrin*

Résumé: Dans cet article, l'auteur dégage les principales caractéristiques de la méthode MEDEE, méthode mise au point par l'I.E.J.E. de Grenoble et visant à analyser l'évolution à long terme de la demande énergétique. L'auteur présente ensuite les premières conclusions des travaux d'adaptation de cette méthode au cas du Québec, en abordant successivement les caractéristiques globales du modèle MEDEE-3 Québec et les résultats d'ores et déjà obtenus dans l'utilisation de cette méthode.

Décrypter l'avenir, tenter de déchiffrer les évolutions et tendances qui définissent la société de demain constituent l'un des domaines de recherche les plus dynamiques de la réflexion économique. Dans le secteur énergétique, cet intérêt pour ce type d'analyse est d'autant plus vif que dans la plupart des cas, les investissements à consentir sont lourds, massifs et nécessitent une période de réalisation qui suppose de la part des décideurs une bonne connaissance de l'évolution à long terme du secteur - et notamment de la demande. Pour ces décideurs, il devient ainsi essentiel de disposer d'outils et d'instruments leur permettant de lever, au moins partiellement, l'incertitude du futur lointain.

---

* Directeur général de l'Analyse économique et financière, secteur Energie, ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.

Depuis les crises de l'énergie des années soixante-dix, les exercices de prévision de la demande à long terme se sont heurtés à une difficulté majeure: les fluctuations très marquées des prix de l'énergie, la rupture de la croissance régulière de l'activité économique ont modifié profondément les structures et les comportements déterminant la demande d'énergie, et les outils traditionnels de prévision se sont révélés inadaptés à la fois à saisir ces phénomènes et à en projeter les conséquences sur le long terme. Il est alors rapidement apparu que les approches dites "technico-économiques" semblaient mieux adaptées à l'analyse d'un contexte énergétique instable, et plus en mesure d'en déduire les tendances d'évolution sur un horizon éloigné.

Parmi ces approches, la méthode MEDEE a très rapidement retenu spécifiquement l'attention. Cette méthode a été conçue et mise au point par deux chercheurs de l'Institut Economique et Juridique de l'Energie (I.E.J.E.) de Grenoble, MM. Bertrand Château et Bruno Lapillonne. Développée sous le patronage des Communautés Européennes, la méthode a été appliquée dans la plupart des pays de la Communauté, dans d'autres pays d'Europe, ainsi que dans certains pays en développement (Algérie, Brésil, etc.)

Il apparaissait essentiel que le Québec dispose, à son tour, d'un outil d'analyse de l'évolution de la demande d'énergie adapté aux nouvelles caractéristiques du contexte énergétique et économique. A cette fin, un effort analogue d'application et d'adaptation a été entrepris et réalisé conjointement par la Direction générale de l'analyse économique et financière du secteur Energie - ministère de l'Energie et des Ressources (D.G.A.-MER) et l'Institut national de la recherche scientifique, secteur Energie (I.N.R.S.-Energie). En août 1982, le ministère de l'Energie et des Ressources publiait un rapport rendant compte de la première étape de cet effort d'adaptation - soit l'implantation au Québec de l'un des modèles élaborés dans le cadre de cette méthode, le modèle MEDEE-2 (1). Dans une deuxième étape, l'effort a porté sur l'implantation du modèle MEDEE-3 (2). Dans le présent article, on s'attachera à dégager les principales caractéristiques de la méthode ainsi mise en place et de son application au Québec, et à effectuer une première analyse des résultats obtenus dans l'utilisation de MEDEE-3 Québec.

---

(1) Energie et Ressources - Québec, Implantation de MEDEE-2 au Québec, Collection études et recherches, août 1982.

(2) Ces travaux ont été présentés lors du séminaire MEDEE-MARKAL, tenu le 27 octobre 1983 à Montréal, et organisé conjointement par l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales et par le ministère de l'Energie et des Ressources.

I - LA METHODE MEDEE

Comme on vient de le souligner, les modèles MEDEE appartiennent à une famille de méthodes prévisionnelles - les méthodes technico-économiques - dont l'apparition et le développement, dans le domaine de l'énergie, résultent directement des modifications profondes subies par le contexte énergétique depuis le début des années soixante-dix.

Jusqu'à la première crise de l'énergie - dont les prémices étaient perceptibles dès 1970 -, le contexte économique et énergétique avait connu, sur une longue période, une évolution relativement continue, se caractérisant en particulier par une croissance régulière de l'activité économique et l'absence de fluctuations très marquées des prix de l'énergie. Il était apparu ainsi une certaine stabilité dans les relations existant entre la consommation d'énergie et les principales variables économiques (volume de l'activité économique, prix, etc.). Cette stabilité avait permis d'utiliser avec succès les méthodes de prévision de la demande d'énergie fondées sur des modèles économétriques traditionnels. Les méthodes employées consistaient à traduire, sous forme mathématique, les relations observées dans le passé entre la demande d'énergie et les différentes variables explicatives (variables économiques, démographiques, climatiques, etc.). La simulation de ces relations dans le cadre du modèle ainsi établi permettait de déduire la prévision d'évolution de la demande d'énergie d'hypothèses concernant l'évolution de ces variables explicatives.

Le premier choc pétrolier et la fin de la période de croissance forte des pays industrialisés ont conduit à des modifications profondes dans les liaisons existant entre la demande d'énergie et la plupart de ces variables explicatives. Les modèles économétriques traditionnels se sont révélés alors incapables d'intégrer ces bouleversements, les liaisons passées ne s'appliquant plus, même en inversant l'évolution des variables explicatives. Par ailleurs, il était impossible de remplacer ces relations mathématiques par de nouvelles relations, la période observée étant trop brève - et le contexte énergétique et économique trop instable.

A ces difficultés liées directement à l'évolution de la situation énergétique, se sont ajoutés d'autres problèmes découlant de la "déviation" qu'ont subis de nombreux modèles économétriques. Au fur et à mesure des modifications qui leur étaient apportées, les modèles économétriques

utilisés pour prévoir la demande énergétique sont devenus soit très agrégés, soit à l'inverse extrêmement sophistiqués et complexes - et dans les deux cas très peu transparents, le décideur ayant de plus en plus de difficulté à établir des liens précis entre la prévision établie et telle ou telle hypothèse retenue.

La nécessité de disposer de méthodes de prévision mieux adaptées à la nouvelle situation s'est alors imposée rapidement, et il est apparu que les approches dites "technico-économiques" convenaient mieux à un contexte énergétique instable.

L'application au secteur énergétique des méthodes technico-économiques

Les méthodes technico-économiques diffèrent des méthodes économétriques traditionnelles dans la démarche générale utilisée - et que l'on peut résumer en trois étapes (1).

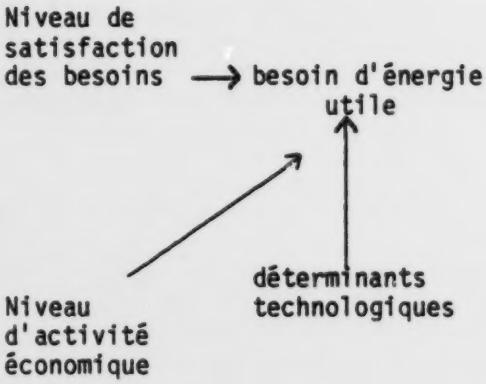
- En premier lieu, l'analyse de la demande d'énergie est effectuée au niveau des usages, chaque usage étant identifié à un niveau très désagrégé. Dans le cas de MEDEE, par exemple, les usages sont définis de telle sorte qu'ils correspondent à une demande élémentaire homogène d'énergie (chauffage, cuisson ou éclairage pour les ménages, chauffage de l'espace, force motrice dans le secteur industriel, etc.).

- En deuxième lieu, pour chacun de ces usages, on détermine le besoin d'énergie utile, c'est-à-dire l'énergie que demande un consommateur pour satisfaire le besoin ou réaliser l'activité liée à l'usage identifié.

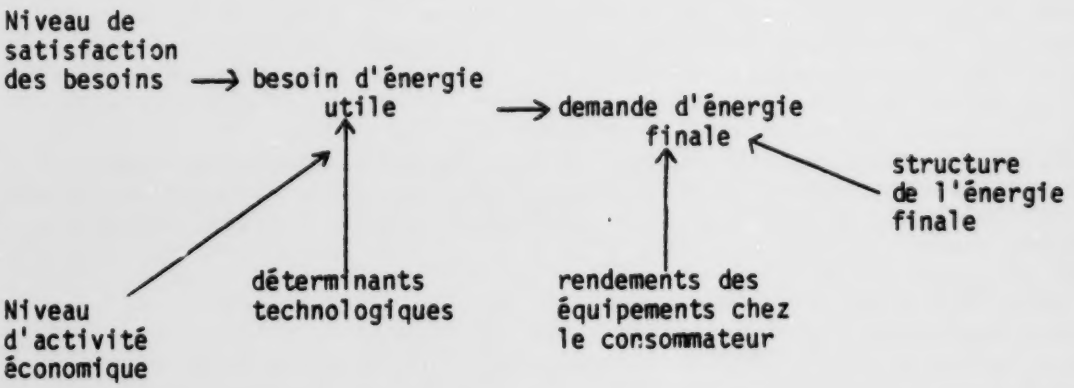
---

(1) Voir à ce sujet, B. Lapillonne, Les diverses méthodes de prévision de la demande d'énergie à moyen et long terme. Introduction aux "méthodes technico-économiques", Revue de l'énergie, février 1983, pages 84 et suivantes.

Ce besoin d'énergie utile dépend lui-même de déterminants économiques, techniques et sociaux (voir figure ci-après). Par exemple, le besoin d'énergie utile peut correspondre pour un usage donné à la réalisation d'une activité économique (produire de l'acier) ou à un besoin (se déplacer). Ce besoin va être défini dans un certain contexte économique et technique (processus de production de l'acier, moyen de transport utilisé).



Le besoin d'énergie utile permet de définir la demande d'énergie finale, c'est-à-dire la quantité d'énergie effectivement demandée, en tenant compte des caractéristiques d'efficacité des équipements et de la forme d'énergie utilisée. Si on reprend l'exemple précédent, la demande d'énergie finale découlant du besoin de produire de l'acier ou de se déplacer dépendra du rendement de l'équipement utilisé (rendement de l'équipement industriel, du moyen de transport) ainsi que de l'efficacité de la forme d'énergie employée (combustible, carburant).



- En troisième lieu, les méthodes technico-économiques font une place particulière à la technique des scénarios. Les scénarios sont en effet utilisés pour prendre en compte à la fois les facteurs non quantifiables et les facteurs dépendant directement de choix politiques. Comme on le verra plus loin, avec l'exemple de l'approche MEDEE, les scénarios ont une importance essentielle et en fait, les modèles technico-économiques peuvent être considérés comme des modèles permettant de faire correspondre une certaine demande d'énergie finale à un scénario défini.

Il faut préciser ici que les éléments de la démarche suivie dans le cadre des méthodes technico-économiques ne sont pas totalement exclusifs à ces méthodes. Par exemple, il existe, pour analyser et prévoir l'évolution de la demande d'énergie, de nombreux modèles économétriques qui effectuent la distinction entre énergie utile et énergie finale, ou qui font une place plus ou moins grande à la technique des scénarios. Cependant, les modèles technico-économiques sont les seuls à suivre cette triple approche - analyse détaillée de la demande d'énergie, détermination de la demande d'énergie finale à partir des besoins d'énergie utile, utilisation des scénarios - dans une démarche intégrée et systématique.

Deux raisons expliquent essentiellement l'intérêt soulevé par ce type de méthodes, dans l'analyse de la demande d'énergie. Tout d'abord, et à l'inverse des modèles économétriques, ces méthodes ne sont pas "asservies au passé" (1). Elles ne dépendent pas, dans leur élaboration, de la longueur des séries statistiques disponibles, et leur fiabilité n'est pas liée à la durée des observations effectuées durant les périodes antérieures. C'est en raison de cette première caractéristique que ces méthodes sont particulièrement adaptées pour prendre en compte des phénomènes récents mais d'ordre structurels, susceptibles d'influer sur l'évolution à long terme de la demande d'énergie.

En second lieu, ces méthodes apparaissent beaucoup moins déterministes que les modèles économétriques traditionnels. En raison de la place faite aux scénarios et de leur intégration systématique dans le processus d'évaluation de la demande, les méthodes technico-économiques conduisent naturellement à relativiser la prévision effectuée en la liant explicitement au scénario retenu et incitent à simuler plusieurs hypothèses concernant les politiques appliquées par les décideurs ou les différents facteurs non quantifiables. A ce niveau, les méthodes technico-économiques constituent, pour les gouvernements, un outil très précieux leur permettant de mesurer les implications extra énergétiques d'une

---

(1) B. Lapillonne, op. cit.

politique énergétique donnée, ou de mieux prendre en compte les contraintes liées à l'évolution de l'ensemble de l'appareil socio-économique.

Il faut ajouter que les méthodes technico-économiques, de par leur nature même, constituent un appareil d'analyse de la demande d'énergie particulièrement transparent. La désagrégation très poussée que ces méthodes impliquent, l'encadrement devant être mis en place pour l'intégration des scénarios, conduisent à élaborer des outils "clairs", où l'on peut rapidement mettre en relation tel résultat obtenu et telle hypothèse ou telle observation retenue. C'est justement le caractère "opaque" des relations utilisées que l'on reproche souvent à de nombreux modèles économétriques employés pour évaluer la demande d'énergie.

Les originalités de l'approche MEDEE

Pour donner des résultats satisfaisants et constituer un outil opérationnel de planification énergétique, les modèles technico-économiques doivent résoudre correctement deux difficultés particulières à ce type d'approche. Ces modèles doivent être conçus de telle sorte que soient minimisées les difficultés de collecte statistique des informations nécessaires au fonctionnement du modèle. Par ailleurs, il est essentiel que les modalités retenues pour la définition des scénarios et leur intégration dans le modèle permettent d'en garantir la cohérence interne.

L'approche MEDEE fournit une réponse originale et satisfaisante à ces deux types de difficultés.

- Tout d'abord, pour ce qui est de la disponibilité des renseignements statistiques, la méthode MEDEE suggère que l'on distingue entre deux types d'informations: on peut en effet classer les données nécessaires selon qu'il s'agit de renseignements de nature socio-économique, ou d'informations beaucoup plus techniques intéressant spécifiquement le secteur énergétique.

Dans le premier cas, et pour la plupart des pays, on s'aperçoit rapidement que les données recherchées sont en fait le plus souvent disponibles, mais qu'elles ont été recueillies pour des raisons autres qu'énergétiques par des organismes qu'il s'agit d'identifier et éventuellement d'associer à la démarche entreprise. C'est le cas, par exemple, de la plupart des informations concernant le secteur des transports, des caractéristiques du secteur industriel, etc. Si les données communiquées ne fournissent pas exactement les renseignements recherchés, elles permettent cependant de disposer d'un certain nombre d'informations qui peuvent être

utilisées en modifiant l'approche retenue dans le modèle. Le modèle MEDEE est en effet suffisamment souple pour permettre ce type de modification, la démarche utilisée pour appréhender un phénomène étant liée directement à la nature des données disponibles.

Pour ce qui est des données plus techniques, et qui en général concernent spécifiquement le secteur énergétique - données concernant le rendement des équipements, des formes d'énergie, etc. - il est en général possible d'utiliser les données disponibles d'autres pays comparables, ou à la limite de procéder par estimation.

Dans les deux cas, il ne faut jamais perdre de vue que les renseignements statistiques recherchés doivent permettre de prendre en compte l'impact d'un phénomène donné en vue d'une évaluation de la demande d'énergie. On doit donc concentrer les efforts de recherche statistique sur les informations susceptibles d'avoir un impact important sur cette évaluation de la demande. Pour les informations ayant une incidence plus limitée sur la demande, on se contentera d'estimations plus approximatives. En ce sens, l'approche MEDEE reste très pragmatique et opérationnelle, le point important étant de garder en perspective l'objectif de tout l'exercice - soit une évaluation fiable de l'évolution de la demande d'énergie finale, dans un contexte socio-économique et technique défini.

On doit ajouter que la contrainte statistique à laquelle se heurte la mise en place de ce type de modèles constitue en fait l'occasion, pour l'analyste, d'améliorer sa connaissance du secteur. En effet, grâce à leur approche très désagrégée, les méthodes technico-économiques -et les modèles MEDEE en particulier - conduisent à identifier avec une grande précision le catalogue des besoins statistiques à satisfaire en priorité, et permettent ainsi à l'organisme effectuant la prévision de disposer d'une sorte de planification de ses efforts futurs de collecte de l'information.

- La seconde difficulté que doivent surmonter les méthodes technico-économiques est liée aux scénarios, et à la nécessité de s'assurer que les scénarios retenus sont cohérents - notamment pour ce qui concerne les rapports entre le développement macro-économique et l'évolution technique. L'approche MEDEE apporte un soin particulier à l'élaboration des scénarios, en insistant justement sur la cohérence interne que doivent respecter, entre elles, les hypothèses constituant un scénario donné. A cette fin, la méthode MEDEE propose une démarche précise, à la fois très structurée et dynamique.

Trois mécanismes complémentaires sont utilisés afin d'aboutir à une telle cohérence:

- En premier lieu, les éléments de scénario sont classés selon une structure hiérarchisée. On part du principe que tous les éléments d'un scénario n'ont pas un poids équivalent, et que certains d'entre eux sont déterminants par rapport à d'autres. Par exemple, les éléments décrivant l'environnement international constituent l'élément de base d'un scénario. Ces éléments (croissance mondiale, évolution de la division internationale du travail) vont avoir un impact sur les éléments de scénario nationaux et macro-économiques (taux de croissance du Produit intérieur brut, répartition de la croissance selon les branches d'activité), qui auront eux-mêmes des incidences sur les variables techniques, économiques et sociales (pourcentage des maisons individuelles, mesures d'isolation, etc.).

Cette hiérarchisation peut être symbolisée par un "cône". En effet, l'élaboration d'un scénario donné s'effectue en partant des éléments classés à un niveau supérieur, pour aller vers les éléments classés à un niveau inférieur. Au départ donc, dans l'élaboration d'un scénario, le champ des hypothèses concernant l'élément supérieur est largement ouvert (par exemple pour ce qui est de la croissance mondiale). A chaque étape, cependant, ce champ se retrécit, l'état d'un élément de scénario appartenant à un niveau donné devant tenir compte de l'état de l'élément de scénario situé au niveau immédiatement supérieur. En fin d'exercice, les hypothèses peuvent ainsi être pratiquement entièrement prédéterminées.

- En deuxième lieu, la quantification des éléments de scénario caractérisant la croissance économique est effectuée à partir d'un modèle dynamique de croissance à long terme de l'économie. Il n'est cependant pas nécessaire que ce modèle soit intégré en tant que tel au modèle MEDEE: dans l'approche MEDEE, on choisit un modèle déjà élaboré à l'extérieur, et considéré comme répondant le mieux aux caractéristiques recherchées. Les indicateurs macro-économiques d'un scénario sont ensuite obtenus directement de ce modèle. Par exemple, et comme on le verra plus loin, dans l'application de MEDEE-3 Québec, on a utilisé les relations macro-économiques du modèle CHOIX de la Direction des études quantitatives du Bureau de la statistique du Québec, complétées de celles du modèle TIM, d'Informetrica Ltd.

- En troisième lieu, l'approche MEDEE prévoit que l'élaboration des scénarios s'effectue en consultation avec un groupe d'experts, appartenant à différentes disciplines, et dont la tâche consiste à effectuer un premier "tri" dans le champ des scénarios possibles. Il faut en effet éviter que la subjectivité ou le système de valeur des individus

directement impliqués dans l'implantation du modèle ne viennent fausser la construction des éléments de scénario. A ce niveau, on doit préciser que la méthode MEDEE implique plusieurs séries de consultations avec des experts extérieurs: au départ, une première série de consultations permet d'élaborer le canevas des scénarios; la construction même des scénarios (qui peut aboutir à une remise en cause du "canevas") s'effectue avec un groupe d'experts plus large; enfin, ces scénarios sont précisés, élément par élément, dans le cadre de consultations ad hoc avec des experts extérieurs.

Il faut ajouter que la cohérence de l'approche retenue est renforcée, dans le cas de la méthode MEDEE, par la technique des "fonctions tabulaires". Les fonctions tabulaires sont des fonctions discontinues qui mettent en relation un ou plusieurs éléments de scénario avec une variable quantifiée, appelée "variable de scénario". L'exercice consiste à associer une valeur précise de cette variable à l'élément de scénario ou à la combinaison d'éléments de scénario qui lui correspond. Or, dans toute la mesure du possible, cet exercice de quantification est intégré à l'élaboration des scénarios, ce qui constitue ainsi un facteur de cohérence supplémentaire.

II - L'APPROCHE GLOBALE DE MEDEE-3 QUEBEC

Pour l'essentiel, l'application de MEDEE-3 au secteur énergétique québécois a été effectuée en respectant l'approche française. Cependant, l'efficacité même d'un modèle de type MEDEE suppose que dans sa conception, ce modèle "colle" aussi étroitement que possible aux réalités socio-économiques et techniques, ainsi qu'aux disponibilités statistiques du pays où il est appliqué. Pour cette raison, l'application de l'approche MEDEE à l'étude du secteur énergétique québécois supposait une adaptation particulière des instruments mis en place. C'est justement le résultat de ce travail d'adaptation que l'on va maintenant rapidement présenter.

Dans MEDEE-3 Québec, comme dans MEDEE-3, l'évaluation de la demande d'énergie et de son évolution est effectuée à partir de deux structures de relations: la première structure (le modèle proprement dit) est un schéma très désagrégé de l'ensemble des liens de causes à effets qui expliquent la demande d'énergie finale. La deuxième structure est un ordonnancement hiérarchisé d'éléments de scénario décrivant l'évolution de l'environnement socio-économique et politique. La structure des éléments de scénario aboutit à un ensemble de "variables de scénario" qui constituent, dans la première structure, la majeure partie des déterminants élémentaires de la demande finale. Les "variables de scénario" permettent donc l'articulation entre les deux structures, leur quantification étant assurée par la technique des fonctions tabulaires.

Dans l'adaptation de MEDEE-3 au Québec, des modifications ont été apportées à la fois à la structure des déterminants de la demande finale et à la structure des scénarios, de même qu'à la technique des fonctions tabulaires. Par ailleurs, sur le plan informatique, des transformations assez profondes ont été appliquées au logiciel original. Globalement cependant, les caractéristiques de MEDEE-3 se retrouvent dans l'adaptation québécoise.

La structure des déterminants de la demande finale

On a souligné précédemment que les modèles technico-économiques se caractérisaient, pour ce qui est de l'analyse de la demande finale, par une approche très désagrégée de l'évaluation de cette demande, ainsi que par la distinction effectuée entre énergie utile et énergie finale. On retrouve effectivement ces deux caractéristiques dans la structure qui identifie les relations permettant d'expliquer le niveau de la demande d'énergie finale.

a) Le processus retenu dans MEDEE-3 Québec

Dans MEDEE-3 Québec, le niveau de désagrégation retenu dans la construction de la structure des déterminants de la demande finale est très poussé, l'objectif étant de mettre en place un schéma dont l'unité élémentaire est homogène - aussi bien pour ce qui est de l'usage de l'énergie qu'en ce qui concerne les caractéristiques du consommateur.

En retenant un certain niveau de désagrégation, les concepteurs du modèle ont dû cependant s'adapter aux contraintes existant quant aux statistiques disponibles. En pratique, des choix ont été effectués, en fonction de l'accessibilité des données statistiques et de l'importance du déterminant analysé pour le niveau de la demande finale.

Si on examine maintenant le processus retenu pour déterminer la demande d'énergie finale, on constate que ce processus comporte quatre étapes principales - soit l'évaluation du besoin social, la prise en compte des technologies avec lesquelles ce besoin est satisfait, le calcul du besoin d'énergie utile et enfin l'estimation de la demande d'énergie finale. Si on prend l'exemple précis du secteur des transports, le besoin social est défini comme étant le besoin de se déplacer ou de déplacer des marchandises, et il est mesuré par le trafic attendu - c'est-à-dire le nombre de déplacements (ou la quantité de marchandises déplacées) multiplié par la distance. La prise en compte des technologies avec lesquelles le besoin social est satisfait s'effectue en évaluant la part de chaque

mode de transport dans chacun des marchés. Le besoin d'énergie utile est égal à la consommation spécifique de chacun des modes de transport, multipliée par le trafic qui lui a été affecté. Enfin, la demande d'énergie finale est déterminée en prenant explicitement en compte l'efficacité de la forme d'énergie utilisée - soit, dans le secteur des transports, le carburant.

b) Les contrôles et la nature des déterminants de base

Dans la structure que l'on a décrite - en prenant comme exemple le secteur des transports -, la demande finale d'énergie dépend, en dernière analyse, de tout un ensemble de déterminants, que l'on voit apparaître au terme du schéma. Ces déterminants sont en quelque sorte la cellule de base dans la succession des liens de cause à effet que constitue la structure de détermination de la demande finale. Dans MEDEE-3 et MEDEE-3 Québec, on regroupe ces déterminants en trois catégories:

- Les exogènes pures sont des variables ayant un champ de variation relativement étroit sur l'horizon considéré - cela en raison d'une grande inertie dans leur évolution. Dans MEDEE-3 et MEDEE-3 Québec, on considère par exemple comme exogène pure le rendement du diesel et son évolution.

- Les variables de scénario sont des variables dont le champ de variation est ouvert, et qui peuvent être reliées directement aux éléments du scénario global décrivant l'évolution du contexte socio-économique et politique. Par exemple, le nombre de jours travaillés constitue une variable de scénario. Il dépend de la croissance économique et de la politique sociale, qui constituent les éléments d'un scénario global d'évolution du contexte socio-économique.

- Les variables hors scénario sont des variables dont le champ de variation est également ouvert, mais qui ne peuvent être reliées aux éléments du scénario global socio-économique et politique. C'est le cas par exemple, dans MEDEE-3 Québec, des télécommunications, ou de la quantité de blé manipulé dans les ports québécois. L'évolution des télécommunications ou des manipulations de blé est considérée comme indépendante de l'évolution des éléments de scénario.

Pour que le modèle puisse fonctionner, il est nécessaire que des valeurs quantifiées soient attribuées à chacun de ces types de déterminants.

- Dans MEDEE-3 et MEDEE-3 Québec, les données concernant les exogènes pures sont prédéterminées et introduites directement dans la structure de détermination de la demande finale.

- Pour ce qui est des variables hors scénario, elles sont également considérées comme des données exogènes. Cependant, leur champ de variation étant très large, il est possible que l'on souhaite retenir plusieurs quantifications pour certaines variables particulièrement importantes - chacune de ces quantifications constituant une variante pour un scénario donné.

- Enfin, les variables de scénario - qui constituent la grande majorité des déterminants de base identifiés - sont déterminées à partir d'un scénario global cohérent et intégrées dans la structure de détermination de la demande finale par le mécanisme des fonctions tabulaires. Ainsi, dans l'approche MEDEE, la structure décrivant la détermination de la demande finale renvoit, en dernière analyse, à toute une série de déterminants de base qui sont eux-mêmes intégrés et reliés entre eux en fonction d'une autre structure - la structure des éléments de scénario. Le passage d'une structure à l'autre s'effectue par l'intermédiaire des fonctions tabulaires.

La structure des scénarios

Les scénarios utilisés dans MEDEE-3 Québec sont élaborés selon une structure comportant cinq étages:

- Au niveau supérieur sont regroupés les éléments de scénario concernant l'évolution de l'économie mondiale. Dans MEDEE-3 Québec, les éléments sont au nombre de trois: croissance mondiale, division internationale du travail et dérive des prix du pétrole.

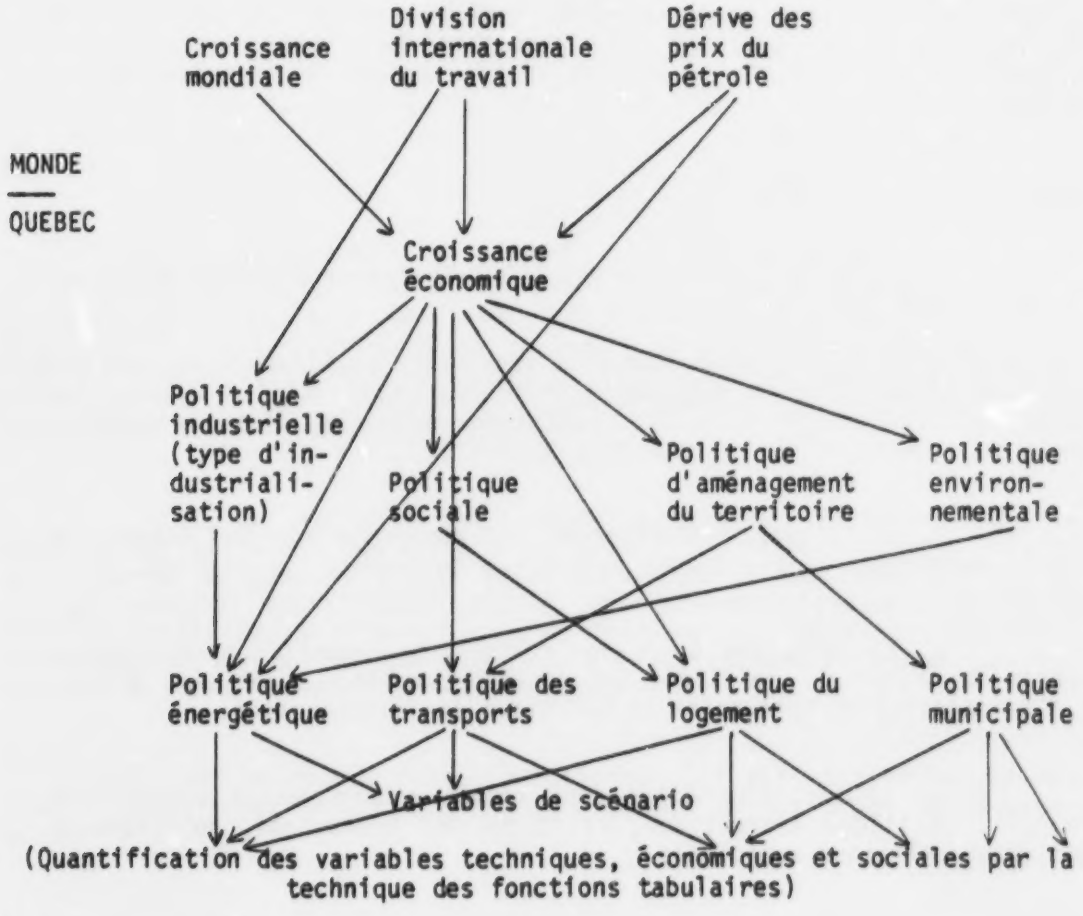
- Au niveau immédiatement inférieur est placé l'élément de scénario concernant la croissance économique du Québec.

- Le troisième étage (en partant du sommet) comprend quatre éléments de scénario: politique industrielle, politique sociale, politique d'aménagement du territoire et politique environnementale.

- Au quatrième étage sont situés quatre autres éléments de scénario: politique énergétique, politique des transports, politique du logement et politique municipale.

- Enfin, à la base de cette structure, on trouve les variables techniques, économiques et sociales dont la quantification est influencée par les éléments de scénario, et que l'on avait regroupé sous le thème de "variable de scénario", lors de l'analyse de la structure de la détermination de la demande finale d'énergie. Dans MEDEE-3 comme dans MEDEE-3 Québec, cette quantification utilise le mécanisme des fonctions tabulaires, dont certaines intègrent les relations d'un modèle dynamique de croissance à long terme de l'économie (le modèle CHOIX, complété par le modèle TIM, pour ce qui est de MEDEE-3 Québec).

Toute une série de liens s'établissent entre les différents éléments de scénario. On doit tout de suite souligner que dans la structure retenue, ces relations s'entendent toujours depuis le niveau supérieur jusque vers les niveaux inférieurs. Le schéma ci-après donne une représentation graphique de la structure des scénarios retenue dans MEDEE-3 Québec.



La structure des scénarios, telle que définie, implique un certain nombre de conséquences, au niveau de l'élaboration même des scénarios, qui sont caractéristiques de MEDEE-3 et de MEDEE-3 Québec. Ces conséquences sont principalement au nombre de trois:

- En premier lieu, cette structure est hiérarchisée, ce qui signifie que le champ de variation possible d'un élément de scénario (politique industrielle, par exemple), dépend étroitement de l'élément de scénario situé sur un niveau supérieur (croissance économique et division internationale du travail, dans ce cas).

- En deuxième lieu, le champ de variation possible d'un élément de scénario est inversement proportionnel au nombre d'éléments de scénario dont cet élément dépend directement ou indirectement. En d'autres termes, plus un élément de scénario dépend d'un grand nombre d'autres éléments de scénario, plus son champ de variation se rétrécit. C'est en cela que la structure de scénario retenue dans MEDEE-3 et MEDEE-3 Québec est une structure en "cône". Au dernier étage de la structure, les éléments de scénario (la politique des transports, par exemple) sont en grande partie prédéterminés par les éléments de scénario situés aux étages supérieurs (politique d'aménagement du territoire, croissance économique, croissance mondiale, etc., dans ce cas).

- En troisième lieu, et comme on l'a déjà précisé, les relations entre les différents éléments de scénario vont toujours des niveaux supérieurs vers les niveaux inférieurs. Il n'existe jamais de relations dans le sens inverse. Cela signifie que la hiérarchie mise en place est complète. Les valeurs prises par un élément de scénario d'un niveau inférieur ne peuvent affecter les valeurs d'un élément de scénario classé à un niveau supérieur.

Ces règles, qui peuvent apparaître coercitives, ont pour but d'assurer la plus grande cohérence possible entre les différents éléments d'un scénario donné. On peut cependant noter que la construction de la structure des scénarios et la hiérarchisation ainsi mises en place correspondent à des jugements explicites. Par exemple, dans la structure de scénario de MEDEE-3 Québec, on considère que la croissance mondiale influe sur la croissance économique québécoise mais que l'inverse est faux.

Dans certains cas, les hiérarchies ainsi retenues peuvent être discutées: il découle par exemple de la structure des scénarios de MEDEE-3 que la politique industrielle (c'est-à-dire le type d'industrialisation) est déterminée en partie par la croissance économique, mais qu'elle n'influe pas sur celle-ci. Il est bien évident qu'il s'agit d'une simplifica-

tion grossière de la réalité, qui s'impose cependant si l'on veut s'assurer que la scénarisation de la croissance économique et de la politique industrielle s'effectue selon un processus cohérent.

La place affectée à la politique énergétique appelle un commentaire particulier. La structure de scénario de MEDEE-3 et MEDEE-3 Québec considère la politique énergétique comme déterminée par quatre éléments de scénario, dont la politique industrielle et la politique environnementale - éléments sur lesquels la politique énergétique influera également, dans la réalité. Il ne faut pas oublier ici que l'approche MEDEE vise justement à disposer d'un outil de simulation de la politique énergétique. L'élément de scénario correspondant à la politique énergétique étant ici en grande partie prédéterminé, la simulation d'une politique énergétique sera en fait effectuée à partir d'une simulation des éléments de scénario qui, dans la structure de MEDEE-3, la déterminent.

Les éléments de scénario dont on vient d'analyser la structure sont à la fois qualitatifs et quantitatifs. Par exemple, l'élément de scénario "dérive des prix du pétrole" comprendra un élément qualitatif (description de l'évolution des prix du pétrole par rapport à l'inflation mondiale, par rapport aux prix des matières premières, etc.) et un élément quantitatif (chiffrage précis du taux d'augmentation ou de diminution des prix du pétrole, pour une période définie).

Pour ce qui est de la quantification des éléments de scénario, MEDEE-3 et MEDEE-3 Québec font intervenir un modèle périphérique de croissance à long terme de l'économie, et utilisent pour l'ensemble des variables de scénario, la technique des fonctions tabulaires.

L'utilisation du modèle de croissance à long terme a pour but de renforcer la cohérence de certains éléments de scénario étroitement reliés entre eux. La méthode consiste à appliquer les relations d'un modèle préalablement choisi, afin de traduire en termes quantitatifs un ensemble de variables à partir des éléments de scénario préalablement définis. Par exemple, dans MEDEE-3 Québec, on a utilisé principalement le modèle CHOIX de la Direction des études quantitatives du Bureau de la statistique du Québec, pour les variables de scénario étroitement reliées à la croissance économique. C'est ce modèle qui a déterminé un certain nombre de variables de scénario (démographie, emploi, productivité), à partir des éléments de scénario retenus (croissance économique). Cette méthode permet de s'assurer de la cohérence interne des indicateurs chiffrés liés au même élément de scénario.

La technique des fonctions tabulaires permet de quantifier toutes les variables de scénario auxquelles aboutissent les différents scénarios

élaborés. Ce sont ces mêmes variables de scénario qui, on l'a vu, constituent l'essentiel des "cellules de base" de la structure de détermination de la demande finale. Dans MEDEE-3 comme dans MEDEE-3 Québec, tout l'exercice de scénarisation vise donc à quantifier ces variables, qui sont les points de jonction de la structure de détermination de la demande finale d'énergie et du schéma décrivant l'environnement socio-économique et politique.

III - LES PREMIERS RESULTATS OBTENUS DANS L'UTILISATION DE MEDEE-3 QUEBEC

L'adaptation de MEDEE-3 au Québec a abouti à une première série de résultats, qui ont été communiqués à l'Office national de l'énergie le 1er février dernier dans le cadre de l'exercice de réévaluation de l'offre et de la demande d'énergie effectué par cet organisme (1).

Cette première utilisation de MEDEE-3 Québec visait en fait deux objectifs:

- En premier lieu, il s'agissait de tester l'outil mis en place, afin de porter un premier jugement sur la validité de l'adaptation effectuée, sur la capacité de MEDEE-3 Québec à présenter une analyse fiable de l'évolution à long terme de la demande énergétique du Québec, et sur les possibilités d'utilisation de cet outil, dans la planification du secteur énergétique québécois.

- En deuxième lieu, les concepteurs de MEDEE-3 Québec considéraient que dès sa première utilisation, le modèle devait permettre de dégager un certain nombre d'enseignements pertinents sur la situation énergétique du Québec, ses perspectives d'évolution, et en particulier sur les liens et relations existant entre la demande d'énergie et plusieurs éléments du contexte socio-économique.

Au vu des résultats maintenant disponibles, on peut considérer que ces deux objectifs ont été atteints. Les premières quantifications obtenues grâce à l'utilisation de MEDEE-3 Québec fournissent un tableau cohérent de la situation énergétique du Québec, à l'horizon retenu. En ce

---

(1) D.G.A. - secteur Energie, ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Evolution de la demande québécoise d'énergie, 1996-2006, 1er février 1984.

sens, le modèle mis en place semble donc reproduire et simuler correctement les principales liaisons expliquant la demande d'énergie, et, en particulier, intègre d'une façon satisfaisante les relations existant entre la demande énergétique et le contexte socio-économique.

Par ailleurs, ces premiers résultats conduisent à plusieurs conclusions pertinentes, concernant les caractéristiques du secteur énergétique québécois ainsi que la nature des mutations actuellement en cours.

Deux scénarios socio-économiques ont été construits, ces scénarios étant contrastés quant à la croissance économique et à l'évolution du prix du pétrole international. Le premier scénario suppose une forte croissance économique, accompagnée d'une hausse importante des prix du pétrole, tandis que le deuxième scénario comporte une croissance économique fiable et une stagnation relative des prix du pétrole. Pour chacun de ces scénarios, deux simulations ont été effectuées selon que l'on incluait ou non certaines hypothèses de pénétration de l'électricité - notamment dans le secteur industriel (1)

Pour les deux scénarios et les quatre simulations retenues, le modèle MEDEE-3 Québec a fourni une évaluation quantifiée de la demande finale et de son évolution, pour l'horizon retenu - soit 1996-2006.

La demande totale d'énergie

Le tableau 1 ci-après regroupe les résultats obtenus.

---

(1) On trouvera une description plus complète de ces deux scénarios dans le document déposé devant l'Office national de l'énergie, Evolution de la demande québécoise d'énergie, 1996-2006, D.G.A.-secteur Energie, ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, 1er février 1984. Le fait d'avoir limité à deux le nombre de scénarios socio-économiques testés au moyen du modèle MEDEE-3 limite bien entendu la portée des résultats obtenus. Par ailleurs, dans le document déposé par le Gouvernement du Québec, il est bien précisé que ces résultats proviennent des travaux effectués conjointement par le ministère de l'Energie et des Ressources et l'I.N.R.S.-Energie, et que l'on ne saurait donc imputer la paternité exclusive et complète des évaluations effectuées à l'un ou l'autre de ces organismes.

Tableau 1

Demande totale d'énergie
(en milliers de tep)

1981-2006

	MEDEE-3 SC.1		MEDEE-3 SC.2		Livre blanc
	A	B	A	B	
1981	31 900	31 900	31 900	31 900	-
1996	39 041	38 350	29 031	28 692	-
2001	41 284	40 385	28 667	28 213	42 137*
2006	44 309	43 282	28 531	28 033	
Taux de croissance annuel moyen 1981-2006	1,3%	1,2%	-0,4%	-0,5%	1,1%**

* Il s'agit d'une prévision pour l'année 2000.

** Pour la période 1975-2000.

Le tableau 1 permet de noter les points suivants:

- Dans le cadre du scénario 1 (forte croissance économique), la demande totale d'énergie passerait de 31,9 x 10^6 tep (tonnes équivalent pétrole) en 1981 à 39,0 ou 38,4 x 10^6 tep en 1996, pour atteindre 41,3 ou 40,4 x 10^6 tep en 2001 puis 44,3 ou 43,3 x 10^6 tep en 2006. Pour la période 1981-2006, le taux de croissance annuel moyen de la demande d'énergie s'élèverait ainsi à 1,3% ou 1,2%.

- Dans le cadre du scénario 2 (faible croissance économique), il y aurait en fait diminution de la demande totale d'énergie sur l'ensemble de la période. La demande énergétique totale passerait en effet de $31,9 \times 10^6$ tep en 1981 à 29,0 ou $28,7 \times 10^6$ tep en 1996, et continuerait à décroître légèrement ensuite. Pour la période 1981-2006, le taux de croissance annuel moyen serait de -0,4% ou -0,5%.

- Pour mémoire, le tableau 1 rappelle l'évaluation présentée dans le Livre blanc sur la politique québécoise de l'énergie, publié en 1978, pour l'an 2000. Cette évaluation est très proche de la quantification du scénario 1.

L'examen de ces résultats permet d'effectuer immédiatement une première constatation. Les scénarios 1 et 2 sont contrastés essentiellement par l'évolution de la croissance économique qu'ils impliquent. Ce facteur semble avoir une incidence importante sur l'évolution de la demande québécoise d'énergie, puisqu'on aboutit ici à deux quantifications relativement éloignées (pour la dernière année de la période, la demande totale d'énergie la plus élevée est supérieure de près de 60% à la demande énergétique la moins élevée). A priori, il résulte donc de ces données qu'au Québec, l'évolution de la demande d'énergie est très sensible aux variations de l'activité économique.

Par ailleurs, pour chacun des deux scénarios, la simulation comportant une pénétration additionnelle de l'électricité (simulation B) implique une demande totale d'énergie légèrement inférieure à celle obtenue à partir de la simulation A. Toutes choses étant égales par ailleurs, l'utilisation accrue de l'électricité entraîne une amélioration de l'efficacité énergétique perceptible au niveau de la demande énergétique totale.

Le tableau 2 présente l'évolution de la consommation d'énergie per capita et de la consommation par millier de dollars de production, pour chacune des quatre simulations.

Tableau 2

Consommation d'énergie per capita
et par millier de dollars de production
en tep

1981-2006

	Consommation per capita				Consommation par millier de dollars de production			
	MEDEE-3 SC.1		MEDEE-3 SC.2		MEDEE-3 SC.1		MEDEE-3 SC.2	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1981	5,03	5,03	5,03	5,03	1,17	1,17	1,17	1,17
1996	5,47	5,37	4,44	4,39	0,93	0,92	1,05	1,00
2001	5,55	5,43	4,37	4,30	0,85	0,84	1,04	1,02
2006	5,73	5,59	4,28	4,21	0,79	0,77	1,03	1,01

L'évolution de la consommation par millier de dollars de production est particulièrement caractéristique: on remarque, dans le scénario de forte croissance, une diminution continue de la consommation par millier de dollars de production, alors que la réduction est beaucoup plus limitée (et même stagne) dans le second scénario. Cela signifie que dans le scénario de forte croissance, l'économie québécoise devient beaucoup plus efficace énergétiquement que dans le scénario 2. Il s'agit là d'un phénomène que l'on retrouve dans tous les pays industrialisés: une forte croissance économique favorise en soi les économies d'énergie, et cela pour deux raisons.

- En premier lieu, en période de croissance, il est plus facile aux entreprises de dégager les ressources financières permettant de financer les économies d'énergie.

- En deuxième lieu, une forte croissance économique implique une propagation rapide des nouvelles technologies, qui sont le plus souvent économes en énergie.

A l'inverse, une période de stagnation économique (telle que décrite dans le scénario 2) implique une sclérose des structures et un ralentissement des investissements, qui ont pour effet de limiter les efforts de rationalisation de la consommation d'énergie.

Ces phénomènes - qui ont bien été pris en compte dans la quantification effectuée par MEDEE-3 Québec - ont cependant été contrebalancés partiellement par un effet de structure qui semble spécifique à l'économie québécoise. Dans la plupart des pays industrialisés où a été appliquée la méthode MEDEE, on a constaté que l'écart entre les demandes d'énergie évaluées dans le contexte de scénarios contrastés de croissance économique était relativement limité. Cela ne semble pas être le cas pour le Québec, et cela pour une raison qui découle directement de la nature de la croissance économique retenue dans le scénario 1.

Dans ce scénario, on a considéré qu'une croissance rapide de l'activité économique au Québec s'appuierait sur les secteurs où l'économie québécoise dispose d'un avantage comparatif important - soit des secteurs gros consommateurs d'énergie (alumineries, pâtes et papiers, etc.). Il existe ainsi une articulation très forte entre la politique industrielle et la demande d'énergie, d'autant plus accentuée que la croissance économique est rapide.

La répartition de la demande d'énergie par secteur de consommation

Les tableaux 3 et 4 présentent l'évolution de chacun des quatre secteurs de consommation, selon les quatre simulations effectuées.

Tableau 3

Demande totale d'énergie par secteur
(en milliers de tep)

MEDEE-3 SC.1

	1981	1996		2001		2006	
		A	B	A	B	A	B
Résidentiel	7 038	6 880	6 555	6 921	6 563	6 981	6 625
%	22,1	17,6	17,1	16,8	16,3	15,8	15,3
Commercial	3 901	4 546	4 384	4 792	4 600	5 136	4 900
%	12,2	11,6	11,4	11,6	11,4	11,6	11,9
Industriel	11 037	16 969	16 766	18 398	18 049	20 402	19 967
%	34,6	43,5	43,7	44,6	44,7	46,0	46,1
Transport	9 924	10 645	10 645	11 173	11 173	11 790	11 790
%	31,1	27,3	27,8	27,1	27,7	26,6	27,2
TOTAL	31 900	39 041	38 350	41 284	40 385	44 309	43 282

Tableau 4

Demande totale d'énergie par secteur
(en milliers de tep)

MEDEE-3 SC.2

	1981	1996		2001		2006	
		A	B	A	B	A	B
Résidentiel	7 038	6 154	6 020	6 142	5 987	6 113	5 976
%	22,1	21,2	21,0	21,4	21,2	21,4	21,3
Commercial	3 901	3 662	3 574	3 552	3 502	3 569	3 500
%	12,2	12,5	12,5	12,4	12,4	12,5	12,5
Industriel	11 037	11 362	11 204	11 400	11 152	11 467	11 175
%	34,6	39,1	39,0	39,8	39,5	40,2	39,9
Transport	9 924	7 893	7 893	7 573	7 573	7 382	7 382
%	31,1	27,2	27,5	26,4	26,8	25,9	26,3
TOTAL	31 900	29 031	28 692	28 667	28 213	28 531	28 033

- La consommation d'énergie du secteur résidentiel, en quantité, est relativement peu contrastée selon que l'on examine l'un ou l'autre scénario (respectivement 6,9 ou 6,6 x 10^6 tep comparé à 6,2 ou 6,0 x 10^6 tep en 1996, et 7,0 ou 6,6 x 10^6 tep comparé à 6,1 ou 6,0 x 10^6 tep, en 2006). Il apparaît donc que dans ce secteur, la demande d'énergie est relativement inélastique aux variations de la croissance économique. Par contre, étant donné les différences sensibles entre les deux scénarios pour ce qui est de la demande totale d'énergie, on constate que le scénario 1 implique une réduction rapide de la part de la demande du secteur résidentiel dans la consommation totale - cette part restant constante dans le scénario 2.

- Dans le secteur commercial, l'écart entre les consommations correspondant à chacun des deux scénarios est plus marqué. La part du secteur commercial dans la consommation totale diminue légèrement puis se stabilise dans le scénario 1, alors qu'elle augmente dans le scénario 2.

- Chacun des deux scénarios implique un accroissement de la part relative du secteur industriel, plus marqué cependant dans le cas du scénario de forte croissance économique - ce qui est logique, étant donné le fort lien déjà noté existant, au Québec, entre la croissance économique et le développement d'entreprises grandes consommatrices d'énergie. La part de la consommation industrielle dans la consommation totale passerait de 35% en 1981 à 46% en 2006 (scénario 1) ou 40% (scénario 2).

- A l'inverse, dans chacun des deux scénarios, on constate une diminution rapide de la part relative du secteur des transports. De 31% (niveau de 1981), cette part passe en 2006 à 27% (scénario 1) ou 26% (scénario 2).

C'est ainsi que pour ce qui est de l'évolution de la répartition de la demande d'énergie par secteur de consommation, MEDEE-3 Québec permet de dégager quelques remarques de base, qui s'appliquent aussi bien au scénario de forte croissance économique qu'au scénario de faible croissance. Dans les deux cas, on constate une relative stagnation de la consommation résidentielle, qui s'explique à la fois par une saturation des besoins, par des économies d'énergie et par la réduction de la croissance démographique. Dans chacun des deux scénarios, le poids spécifique du secteur industriel s'accroît - et celui du secteur des transports diminue. La tendance à "l'alourdissement" du secteur industriel dans la structure de la consommation d'énergie est également observée dans les principaux pays industrialisés. Quant à la réduction de la part des transports, il s'agit d'un phénomène spécifique aux économies nord-américaines, où de très importants gains de productivité énergétique sont encore possibles dans le secteur.

La répartition de la demande énergétique par forme

Les tableaux 5 et 6 présentent la répartition de la demande énergétique totale, selon les cinq filières énergétiques (pétrole, gaz naturel, électricité, charbon et énergies nouvelles).

Tableau 5

Demande totale d'énergie par forme
(en milliers de tep)
MEDEE-3 SC.1

	1981	1996		2001		2006	
		A	B	A	B	A	B
Electricité	9 666	15 234	17 198	16 412	19 097	17 960	21 097
%	30,3	39,0	44,8	40,0	47,3	40,5	48,7
Pétrole	18 980	15 025	14 363	14 811	13 927	14 532	13 765
%	59,5	38,5	37,5	35,9	34,5	32,8	31,8
Gaz naturel	2 839	7 554	5 633	8 244	5 640	9 123	5 845
%	8,9	19,3	14,7	20,0	14,0	20,6	13,5
Charbon	415	425	425	500	500	563	563
%	1,3	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3
Autres[1]	319	803	731	1 317	1 221	2 131	2 012
%	0,1	2,1	1,9	3,2	3,0	4,8	4,6
TOTAL	31 900	39 041	38 350	41 284	40 385	44 309	43 282

(1) Comprend le G.N.C., l'hydrogène et les carburants alcoolisés, comme le méthanol.

Tableau 6

Demande totale d'énergie par forme
(en milliers de tep)
MEDEE-3 SC.2

	1981	1996		2001		2006	
		A	B	A	B	A	B
Electricité	9 666	11 885	12 941	12 315	13 796	12 564	14 200
%	30,3	40,9	45,1	43,0	48,9	44,0	50,7
Pétrole	18 980	11 392	10 788	10 706	9 879	10 259	9 573
%	59,5	39,2	37,6	37,3	35,0	36,0	34,1
Gaz naturel	2 839	4 936	4 145	4 690	3 581	4 644	3 220
%	8,9	17,0	14,4	16,4	12,7	16,3	11,5
Charbon	415	348	348	349	349	350	350
%	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Autres[1]	319	470	470	608	608	714	690
%	0,1	1,6	1,6	2,1	2,2	2,5	2,5
TOTAL	31 900	29 031	28 692	28 667	28 213	28 531	28 033

(1) Comprend le G.N.C., l'hydrogène et les carburants alcoolisés, comme le méthanol.

a) Le scénario 1

Au niveau de la répartition de la demande d'énergie par forme, des résultats relativement contrastés apparaissent, selon que l'on analyse la simulation A (pénétration du gaz naturel) ou la simulation B (ouverture de marchés additionnels à l'électricité). Ce phénomène résulte directement des hypothèses retenues dans la construction des simulations, mais il démontre également qu'une marge de manoeuvre non négligeable existe, quant à la structure possible du bilan énergétique à l'horizon 2000.

Selon la simulation A, le bilan énergétique se répartirait comme suit: en 1996, la part de l'électricité atteindrait 39%, et resterait pratiquement à ce niveau durant toute la période analysée. Le gaz naturel connaîtrait une pénétration rapide (19% du bilan en 1996), puis une stabilisation par la suite (21% en 2006). Les nouvelles filières énergétiques effectivement quantifiées dans le bilan (G.N.C., hydrogène et carburants alcoolisés) effectueraient une percée relativement significative (2% du bilan énergétique en 1996, 5% en 2006). Enfin, la part du pétrole dans le bilan énergétique diminuerait sensiblement (39% en 1996, 33% en 2006) alors que la part du charbon resterait marginale.

Dans la simulation B, la répartition du bilan énergétique diffère surtout quant à la place relative de l'électricité et du gaz naturel. La pénétration de l'électricité se poursuivrait sur l'ensemble de la période, cette forme d'énergie représentant 45% du bilan énergétique en 1996, 47% en 2001 et 49% en 2006. La part du gaz plafonnerait aux environs de 15% (15% en 1996, 14% en 2001 et 2006). Par contre, la part du pétrole serait peu différente, par rapport à la simulation A - cette part passant de 38% en 1996 à 32% en 2006. On assisterait également à une percée des énergies nouvelles, quoiqu'un peu moins rapide que dans la simulation A.

Ces évaluations amènent trois premiers commentaires:

- On a vu qu'au niveau de la demande globale, les quantifications correspondant au scénario 1 sont très proches des évaluations présentées en 1978 dans le Livre blanc sur la politique québécoise de l'énergie. On doit ajouter que pour ce qui est de la répartition de la demande par forme, la simulation B correspond à peu près directement aux objectifs retenus alors par le Gouvernement pour l'horizon 2000 (50% d'électricité dans le bilan énergétique, 5% d'énergies nouvelles, consolidation de la part du gaz). La méthode MEDEE-3 permet de mettre en relation avec un maximum de clarté certaines des hypothèses socio-économiques et certaines des stratégies industrielles et énergétiques permettant d'atteindre ces objectifs.

- En deuxième lieu, et pour ce qui est des énergies nouvelles, on constate que quelle que soit la simulation retenue, le scénario de forte croissance semble favorable à leur pénétration. On observe ici un phénomène analoque à celui déjà noté pour les économies d'énergie. Une croissance économique élevée accélère la diffusion des nouvelles technologies et rend plus facile le financement des investissements - deux facteurs favorisant directement l'implantation des nouvelles filières énergétiques. Cependant, il faut souligner que même dans ce scénario, les simulations retenues en faveur des énergies nouvelles restent relativement faibles.

- En troisième lieu, et également quelle que soit la simulation, la part du pétrole diminue assez rapidement (taux de croissance annuel moyen de -1,1% ou de -1,3% pour la période 1981-2006). Cette réduction est d'abord due à la pénétration rapide du gaz naturel et de l'électricité, mais il faut ajouter que la décroissance de la part du transport dans la demande totale d'énergie est un autre facteur affectant directement la consommation pétrolière.

b) Le scénario 2

Les données présentées dans le tableau 6 sont également relativement contrastées, selon que l'on fait référence à la simulation A ou B.

Dans la simulation A, comme dans la simulation B, la pénétration de l'électricité se poursuit sur l'ensemble de la période - mais à des rythmes différents. En 2006, l'électricité représenterait 44% du bilan énergétique (simulation A) ou 51% (simulation B).

La part du gaz naturel plafonne aux environs de 16% dans la simulation A, alors qu'elle décroît de 14% (en 1996) à 12% (en 2006) dans la simulation B.

Pour le pétrole comme pour les énergies nouvelles, les deux simulations donnent des résultats relativement voisins: réduction continue de la part du pétrole (36% ou 34% du bilan en 2006, selon la simulation) et faible perçée des énergies nouvelles (moins de 3% du bilan énergétique en 2006 quelle que soit la simulation).

Des commentaires complémentaires à ceux que l'on vient de dégager pour le premier scénario peuvent être dégagés:

- Dans un scénario de faible croissance, la pénétration de l'électricité reste forte (dans les deux simulations) dans la mesure où l'exploitation de l'avantage comparatif du Québec dans l'hydro-électricité est en tout état de cause l'un des axes de la stratégie industrielle prévisible.

- Les énergies nouvelles ne pénètrent pas significativement pour les raisons soulignées précédemment: un contexte de faible croissance économique est peu favorable à l'introduction d'innovations technologiques.

- La part du pétrole diminue dans les deux simulations, et ce phénomène s'ajoutant à celui de la réduction de la demande globale d'énergie, cette diminution signifie, pour la période, un taux de croissance annuel moyen de -2,4% ou -2,7%.

Bien évidemment, ces premiers résultats ne peuvent et doivent être interprétés qu'en fonction des scénarios et simulations construits au préalable. Cependant, ils fournissent déjà un "éclairage" intéressant de l'évolution à long terme de certaines caractéristiques du secteur énergétique québécois - et en particulier des relations existant entre croissance économique et demande d'énergie.

Les prochaines utilisations de MEDEE-3 Québec devraient permettre d'approfondir cette analyse, et plus généralement de mieux identifier les mécanismes qui sous-tendent le développement de la demande d'énergie. L'outil ainsi mis en place devrait également autoriser des simulations relativement fines des politiques gouvernementales et une évaluation plus précise de l'impact des stratégies envisagées.

En ce sens, l'approche MEDEE représente, pour les décideurs du secteur énergétique québécois, un outil précieux de "décodage" du futur, dont la disponibilité devrait conduire à un renforcement de la rationalité de leurs interventions.

*
* *

L'UTILISATION DE LA METHODE MEDEE DANS LE MONDE

par Bertrand Château*

Résumé: Dans cet article, le but de l'auteur est d'effectuer une analyse des utilisations de l'approche MEDEE à travers le monde. L'auteur procède d'abord à un examen des applications de cette méthode dans le processus de définition des politiques énergétiques, en identifiant deux expériences contrastées, celles de la France et du Portugal. L'auteur analyse ensuite l'utilisation de la méthode MEDEE dans le cadre d'études prospectives indépendantes menées sur un plan national ou international. Au terme de son article, l'auteur présente un certain nombre d'enseignements que l'on peut tirer des différentes expériences d'application de la méthode.

La méthode MEDEE a été développée à l'I.E.J.E. (Institut Economique et Juridique de l'Energie - Grenoble - France) à partir d'une recherche menée en 1973 sur les conditions de la prévision de la demande d'énergie à long terme, avec le support de trois grandes entreprises énergétiques françaises (Electricité de France, Elf-Erap, Commissariat à l'Energie atomique).

Cette méthode a été conceptualisée et ses principes fondamentaux définitivement établis entre 1974 et 1976; parallèlement, et de façon complémentaire, une analyse systémique exhaustive de la demande d'énergie était entreprise, l'ensemble étant consigné dans un ouvrage paru en 1977 (1).

Sur cette base méthodologique, deux modèles de prévision automatisés ont été construits:

- MEDEE 2, développé dans le cadre de l'I.E.J.E. et l'I.I.A.S.A. (International Institute for Applied Systems Analysis) en 1977-1978, et conçu au départ comme un instrument simple, maniable et pédagogique.

---

(1) B. Château, B. Lapillonne, Prévision à long terme de la demande d'énergie: propositions méthodologiques, C.N.R.S., Paris, Juin 1977.

* Directeur de l'Institut Economique et Juridique de l'Energie de Grenoble et concepteur, avec M. Bruno Lapillonne, de la méthode MEDEE.

- MEDEE 3, développé à l'I.E.J.E. avec le support des Communautés européennes sur la période 1978-1979, et destiné à conserver toute la richesse analytique et conceptuelle de la méthode.

Ces modèles ont été depuis utilisés, avec ou sans l'appui de l'I.E.J.E., dans de très nombreux pays du monde entier et par de grandes organisations internationales.

Récemment, des nouvelles versions des modèles MEDEE, adaptées soit de l'un, soit de l'autre, soit des deux modèles originels, ont été développées pour répondre à de nouvelles interrogations (maîtrise de l'énergie) ou de nouvelles conditions d'utilisation (pays en voie de développement).

Nous nous attacherons à présenter ici un bilan des principales applications "pertinentes" de la méthode et des modèles MEDEE auxquels nous avons été associés. Par souci de clarté, nous distinguerons les applications intégrées au processus de définition des politiques énergétiques de celles qui ne l'ont pas été, en essayant d'éclairer les spécificités de chaque type d'application.

I - L'AIDE A LA POLITIQUE ENERGETIQUE

L'intégration des instruments de prévision dans l'établissement des politiques énergétiques et la signification des prévisions au regard de ces politiques varient considérablement selon les structures institutionnelles des pays, leur processus de décision et leur structure politique. Il serait donc parfaitement vain et illusoire de vouloir tirer quelque leçon générale que ce soit des expériences faites à ce jour avec MEDEE dans ce contexte. Tout au plus pourra-t-on essayer de caractériser quelques expériences spécifiques d'un certain niveau d'intégration de l'utilisation de MEDEE dans le processus d'élaboration des politiques. On caractérisera ces expériences sur les points suivants:

- les objectifs de l'exercice
- les choix des scénarios et leur élaboration
- l'utilisation des résultats

Parmi la petite dizaine d'expériences où nous avons été associés (France, Belgique, Danemark, Italie, Espagne, Portugal, Brésil, Algérie,

etc.), nous n'en retiendrons que deux particulièrement contrastées, l'expérience française et l'expérience portugaise.

A) L'expérience française

La politique énergétique française, jusqu'à ces toutes dernières années, s'établissait surtout par une recherche de compromis entre les politiques des grandes entreprises énergétiques nationalisées, dans le cadre d'une planification indicative qui a connu des fortunes diverses. L'administration française n'a pas et, jusqu'à nouvel ordre, ne souhaite pas de capacités d'expertise technico-économique propres, susceptibles de l'aider à élaborer sa politique énergétique.

Il n'existe donc pas, en France, de structure administrative où l'intégration d'un modèle de type MEDEE à l'élaboration de la politique énergétique puisse se faire, sinon, indirectement, au travers des entreprises. Ceci n'exclut pas que certains services du Ministère de l'Industrie ou du Commissariat au Plan puissent, à l'occasion, s'associer des compétences extérieures pour mener des exercices de prévision indépendants des entreprises.

Ce fut le cas en 1980 avec le Centre d'Etudes Prospectives du Ministère de l'Industrie et de la Recherche, qui souhaitait utiliser la méthode MEDEE pour étudier les implications à l'horizon 2000 d'une politique de fortes économies d'énergie.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs étapes ont été nécessaires.

- Etablir la composition du groupe de travail chargé d'élaborer les scénarios et d'analyser les résultats, et préciser son mode de fonctionnement.

- Choisir le nombre et le contenu des scénarios à étudier pour atteindre l'objectif fixé et procéder à leur élaboration.

- Analyser les résultats et procéder aux itérations de façon à aboutir à un jeu de résultats faisant l'objet d'un consensus au sein du groupe et susceptible d'être "recevable" par les décideurs.

a) Le groupe

La composition du groupe a été décidée avec les objectifs et contraintes suivants:

- nécessité d'intégrer des représentants des entreprises énergétiques, si possible familiers avec la méthode (cf. plus haut le mode d'élaboration des politiques énergétiques en France).

- volonté d'intégrer des compétences "sectorielles" sur l'habitat, l'industrie, les transports, etc., pouvant se prononcer à la fois sur le plan économique et sur le plan technique.

- coordination assurée par le représentant du Ministère et les auteurs de la méthode.

Le mode de travail du groupe consistait en des réunions thématiques d'une ou deux journées espacées d'un mois environ (7 à 8 réunions globalement).

Chaque réunion était préparée par l'envoi de documents et de synthèses relatifs au thème de la réunion suivante par les différents participants.

b) Les scénarios

Le nombre de scénarios a été fixé à deux, l'un devant reprendre plus ou moins la politique énergétique alors en vigueur (scénario de référence), l'autre étant caractérisé par une politique beaucoup plus soutenue de maîtrise de l'énergie (scénario à bas profil énergétique technique). Afin de permettre une interprétation plus facile des résultats, il a été décidé d'associer ces deux scénarios "énergétiques" à un même scénario de croissance économique, et de fonder les contrastes sur des différences dans l'évolution du système de prix de l'énergie.

Compte tenu du caractère normatif de certains aspects du scénario (engagement électro-nucléaire par exemple) et des contraintes que cela pose au niveau du libre choix des consommateurs, il a été convenu d'utiliser conjointement les deux modèles MEDEE 2 et MEDEE 3.

L'élaboration concrète des scénarios s'est faite de la façon suivante:

- choix d'un scénario socio-économique, situé dans le prolongement des perspectives économiques à moyen terme officielles et susceptibles de rallier le maximum d'accords à l'extérieur, afin de concentrer l'attention sur les problèmes strictement énergétiques. Il faut noter à ce propos que le principal critère de choix retenu n'était pas la probabilité d'occurrence du scénario, mais sa recevabilité dans l'opinion publique.

- caractérisation fine des politiques énergétiques en termes d'actions d'économies d'énergie et de substitutions interénergétiques, de façon telle qu'aucun phénomène immédiat de rejet ne se produise, ni au sein des entreprises, ni au sein des ministères.

- traduction des scénarios socio-économiques et énergétiques dans les variables de scénario de MEDEE 2 et de MEDEE 3, à partir des fonctions tabulaires de MEDEE 3 d'un côté, des expertises sectorielles de l'autre, et après avis motivé des représentants des entreprises. Il faut noter ici que sur certaines hypothèses très "sensibles", l'accord général a parfois été très long à obtenir, chaque entreprise exigeant que soit pris en compte sa propre façon de voir les choses; ainsi, l'hypothèse n'était-elle, parfois, qu'un compromis pas toujours très satisfaisant.

Les résultats furent ensuite soumis au groupe pour expertise et ne donnèrent lieu à changement d'hypothèses qu'en cas de découvertes d'incohérences ou d'invraisemblances considérées comme telles par l'ensemble du groupe: l'objectif, ici, était d'éviter qu'un des participants du groupe ne cherche à faire modifier, par quelque moyen que ce soit, un résultat qui ne lui convenait pas. Le principe intangible, au niveau de l'interprétation et l'utilisation des résultats, était en effet que s'il y avait accord sur la méthode, le modèle et les hypothèses, les résultats devaient nécessairement être admis comme tels.

Ceci a permis de déboucher sur la publication d'un dossier du Ministère de l'Industrie (1) consacré aux résultats de ces travaux et

---

(1) Ministère de l'Industrie, Un scénario de croissance sobre en énergie pour la France, Dossier 21, Collection Les dossiers de l'énergie et des matières premières, La documentation française, Paris, février 1980.

engageant l'ensemble des personnes et des organismes ayant participé à l'exercice. Si ce document n'a pas eu d'implications immédiates sur la politique énergétique française, il est probable qu'il a néanmoins contribué aux réorientations survenues depuis 1981.

B) L'expérience portugaise

L'expérience portugaise diffère radicalement de l'expérience française en ce sens que l'utilisation de MEDEE s'y est faite de façon très intégrée au processus de planification énergétique.

a) L'objectif

L'objectif, au départ, était double:

- doter l'administration d'une capacité propre d'élaboration des plans énergétiques, disposant de ses propres instruments de planification.

- définir les politiques énergétiques les plus cohérentes avec les grandes hypothèses de développement économique retenues par les Pouvoirs publics.

Dans un premier temps, il s'est agi, pour l'administration portugaise, de se doter d'instruments de planification qu'elle puisse entièrement maîtriser. Plusieurs possibilités s'offraient à elle (construction "ex nihilo" de modèles propres, adaptation de modèles nord-américains, adaptation de MEDEE, etc.), et c'est sur MEDEE finalement que s'est porté son choix: d'une part pour minimiser les délais d'obtention d'instruments opérationnels, d'autre part en raison de la transparence et de la souplesse d'adaptation de la méthode.

Préalablement à l'utilisation de la méthode proprement dite, s'est déroulée une phase préliminaire d'adaptation des modèles et de transfert du savoir-faire, suivie d'une deuxième phase, d'élaboration des bases de données.

Ce travail préliminaire a été effectué par un groupe de travail composé de représentants de la Direction Générale de l'Energie (ministère de l'Industrie), du G.E.B.E.I. (Groupe de travail du ministère du Plan) et des auteurs de la méthode.

Ce groupe a décidé d'adapter d'abord le modèle simple MEDEE 2, laissant l'adaptation de MEDEE 3 pour la phase suivante.

L'adaptation a consisté essentiellement à redéfinir les catégories (usages, agents économiques, environnement technologique, etc.) en fonction des spécificités du pays et des informations disponibles ou susceptibles de l'être assez rapidement, et à modifier quelques équations internes du modèle pour les rendre plus pertinentes dans le contexte portugais.

Parallèlement à la mise au point des modèles adaptés et en fonction des données jugées nécessaires pour documenter le modèle, une série d'enquêtes et d'études ont été lancées afin d'obtenir l'information manquante.

Une fois le modèle mis au point et complètement documenté, et la méthode parfaitement maîtrisée par le groupe de travail, celui-ci a procédé à l'exercice de scénarisation et de prévision proprement dite.

Au départ, cet exercice ne devait avoir qu'une valeur indicative pour les décisions de politique énergétique des Pouvoirs publics, puisqu'à l'époque le gouvernement en place refusait le concept même de "planification énergétique"; par la suite, cet exercice deviendra une composante principale du Plan énergétique du Portugal.

b) Le choix et l'élaboration des scénarios

Le choix et l'élaboration des scénarios se sont faits selon une démarche assez analogue à celle de l'exercice français, aux différences près suivantes:

- ont été associés à l'élaboration des scénarios, des représentants des différents ministères sectoriels portugais (transport, logement, etc.) afin d'assurer une complète intégration, dans les scénarios, des perspectives et objectifs de politique économique générale et sectorielle des Pouvoirs publics, condition d'une bonne articulation de la planification énergétique et de la planification globale.

- deux scénarios socio-économiques contrastés ont été choisis, auxquels ont été associés deux politiques énergétiques différenciées notamment sur le plan de la maîtrise de l'énergie.

- la mise au point des scénarios s'est faite de façon plus complexe que dans l'exercice français puisqu'en plus des phases "techniques" de contrôle de cohérence, internes au groupe de travail, une phase "politique" externe était nécessaire pour assurer la recevabilité de l'exercice et de ses résultats par les Pouvoirs publics.

- l'absence d'une partie des études techniques prospectives nécessaires à l'élaboration des hypothèses sur les variables techniques des scénarios s'est traduite par un recours assez important à des études étrangères et une transposition au cas du Portugal (à partir notamment d'études françaises).

c) Les résultats

Les résultats de cet exercice ont été consignés dans un document publié conjointement par les deux administrations et présenté par le Directeur général de l'Energie du Portugal à la Conférence mondiale de l'Energie de 1980 à Münich (1). Ils constituent actuellement le cadre directeur pour toutes les réflexions et décisions énergétiques, globales et sectorielles.

Ils ont été directement utilisés pour déterminer l'évolution souhaitable du système d'approvisionnement énergétique du Portugal (par le biais d'un modèle de simulation de l'offre), quantifier l'évolution des besoins d'investissement et éclairer les prises de décisions concernant les gros équipements énergétiques.

C) Conclusions

Si aucune règle générale ne peut être dégagée concernant l'utilisation de MEDEE dans le cadre de l'élaboration des politiques énergétiques, comme on le rappelait au début, certaines conclusions peuvent néanmoins être dégagées des différents exercices auxquels nous avons participé.

---

(1) S. Paes, A. Martins, L'évolution probable de la demande d'énergie au Portugal, in Proceedings Conférence Mondiale de l'Energie, Münich, septembre 1980.

C. Neto et alii, A procura de Energia en Portugal (cenarios alternativos), Direction générale de l'Energie, Lisbonne, 1980.

- Pour que l'exercice soit véritablement utile à l'élaboration des politiques énergétiques, il est indispensable d'y associer, dès l'origine, les principaux acteurs de cette politique: afin de les familiariser avec la méthode d'un côté (éviter le phénomène des boîtes noires), afin de les impliquer dans les scénarios de l'autre. Faute de quoi le phénomène de rejet sera presque inéluctable.

- L'exercice ne sera également utile que s'il est recevable, c'est-à-dire si les acteurs concernés y retrouvent tout ou partie de leurs points de vue et s'ils accordent une certaine crédibilité aux scénarios: il s'agit là d'une contrainte, parfois très prégnante, qui peut nuire de façon non négligeable à la cohérence des scénarios si l'un ou l'autre des acteurs est trop puissant et trop "dogmatique". Une composition judicieuse du groupe de scénarisation, et une bonne efficacité dans la recherche des compromis entre le "souhaitable" pour les acteurs, le "plausible" pour le scénariste et le "probable", communément admis, permettent souvent d'éviter cet écueil.

II - LES ETUDES PROSPECTIVES INDEPENDANTES

La plus grande partie des applications actuelles ou passées de la méthode MEDEE s'est faite dans le cadre d'études prospectives indépendantes menées sur un plan national ou international.

De telles études ont été entreprises, à notre connaissance, dans les dix pays de la Communauté européenne, l'Espagne, le Portugal, la Suède, plusieurs pays d'Amérique latine (Mexique, Colombie, Equateur, Brésil, Argentine) et certains pays d'Afrique du Nord (Algérie et Maroc notamment); par ailleurs, trois grandes études à caractère international ont été menées à terme, à la Communauté européenne d'une part, à la Commission économique pour l'Europe de l'ONU d'autre part, et à l'I.I.A.S.A. enfin.

Il est évidemment exclu de décrire ici tous ces exercices, d'autant que contrairement au type d'utilisation décrit précédemment, on peut dégager ici des règles générales.

A) Objectifs et choix des scénarios

A la différence des exercices décrits plus haut, aucune contrainte n'existe ici a priori sur le choix des scénarios puisque ceux-ci ne nécessitent aucun "aval" des décideurs. C'est seulement en fonction de la nature de l'exercice et des objectifs qu'il vise - c'est-à-dire des questions auxquelles il veut répondre - que sera déterminé ce choix.

En règle générale, on s'aperçoit que les scénarios sont choisis en fonction des grandes interrogations du moment: sortie de crise économique, nouveau choc pétrolier, etc.

Quelques exemples permettront d'illustrer cette relation:

• En France tout d'abord, trois exercices principaux se sont succédés dans le temps, tous contribuant à un approfondissement de la connaissance des relations entre la croissance économique et la demande d'énergie.

- le premier, en 1975-1976, s'interrogeait sur les implications énergétiques d'une crise économique prolongée en France, par rapport à une évolution tendancielle de l'économie dans le prolongement des quinze dernières années.
- le second, en 1978-1979, s'interrogeait sur les rôles respectifs des déterminants socio-économiques et des déterminants technologiques dans une évolution de la demande d'énergie contrastée par rapport à l'évolution tendancielle.
- le troisième, en 1980, visait à étudier les relations entre la demande d'énergie et l'aménagement du territoire, notamment dans l'éventualité d'une plus grande décentralisation de l'économie et des structures institutionnelles françaises.

• Au niveau des dix pays de la Communauté européenne, trois scénarios ont été étudiés pour cerner les conséquences énergétiques des grandes réponses possibles à la crise économique qui sévit depuis 1975: ultra-libéralisme économique et ouverture d'un côté, concertation mondiale de l'autre, et centrage "européen" enfin.

Comme on le voit sur ces exemples, le choix des scénarios est ici directement dépendant des "messages" que l'on veut transmettre.

B) Elaboration des scénarios

L'élaboration des scénarios, dans ce type d'exercice, peut se caractériser rapidement par les deux traits suivants:

- plus grande flexibilité dans la procédure même d'élaboration des scénarios;

- plus grandes exigences dans la mise en cohérence des hypothèses.

Dès l'instant où l'on ne cherche plus à recueillir nécessairement l'adhésion des acteurs de la politique énergétique aux résultats de l'exercice, point n'est besoin de les associer étroitement à la phase de scénarisation. Il en résulte une beaucoup plus grande liberté quant au choix des personnes susceptibles de participer à l'exercice, et à leur mode de travail.

En particulier, la constitution du groupe de scénarisation et son mode de fonctionnement vont être étroitement dépendants de l'objectif de l'exercice et des scénarios que l'on a choisi d'étudier: ainsi, l'accent pourra-t-il être mis plutôt sur des spécialistes du secteur de l'énergie dans un cas (étude de scénarios de chocs pétroliers par exemple), sur des sociologues, dans un autre cas (étude d'un scénario de bouleversement dans les modes de vie), sur des spécialistes de l'aménagement du territoire dans un troisième (étude d'un scénario de décentralisation), etc. Et, selon les cas, le groupe pourra chercher à développer une réflexion entièrement originale ou s'appuiera largement sur d'autres réflexions prospectives, ou simplement cherchera à traduire en termes ad hoc à MEDEE des scénarios déjà existants.

La contre-partie de cette plus grande souplesse dans le travail des scénarios est la plus grande exigence au niveau de la mise en cohérence des hypothèses. La force de persuasion du message que l'on veut transmettre est ici directement dépendante de la cohérence et de la plausibilité des hypothèses et non de leur "recevabilité" par des acteurs. Cela exigera donc, des scénaristes, plus d'imagination et de réflexion concernant le "champ des possibles" des éléments de scénarios et plus de rigueur dans l'analyse diachronique (analyse des enchaînements des événements dans le temps).

A titre d'illustration, on peut évoquer certains des exercices auxquels nous avons fait allusion plus haut.

La première étude effectuée en France (1975-1976) constitue une sorte d'extrême. Aucune étude prospective globale existante n'a été utilisée, et il s'agissait donc de construire ces scénarios "ex nihilo". Par souci d'efficacité, le groupe de scénarisation a été restreint aux deux auteurs de la méthode, lesquels ont travaillé de façon permanente, avec les principes suivants:

- mise en oeuvre et suivi scrupuleux des principes méthodologiques de la "méthode des scénarios" telle que conceptualisée et décrite par ses auteurs. (1)

- élaboration des hypothèses à partir de discussions et d'échange d'informations avec de très nombreuses personnes compétentes dans les différents domaines abordés dans les scénarios (démographes, entreprises industrielles, sociologues, entreprises énergétiques, etc.).

L'étude en cours d'achèvement à la Communauté européenne constitue un autre extrême, puisqu'il s'agit là de traduire, en termes ad hoc à MEDEE, trois scénarios étudiés préalablement par le groupe de prospective (groupe FAST) de la Direction Générale "Recherche Développement" de la Communauté européenne. La nature "communautaire" de l'exercice et sa spécificité se sont traduites, au plan de l'élaboration du scénario, de la façon suivante:

- un groupe de scénarisation a été constitué qui rassemblait des représentants des principales directions générales concernées par l'exercice (Recherche et Développement, Energie, Industrie, Transport, etc.), certains auteurs des scénarios du groupe FAST, et les concepteurs de la méthode MEDEE.

- le groupe a fonctionné à partir de réunions de travail d'une à deux journées, espacées d'un mois environ (six à sept réunions en tout).

---

(1) P.A. Julien, P. Lamonde, D. Latouche, La méthode des scénarios - Une réflexion sur la démarche et la théorie de la prospective, Collection Travaux et recherches de prospective, no. 59, La documentation française, Paris, 1975, 129 pages.

- l'élaboration des hypothèses s'est faite d'abord en actualisant le cas échéant les scénarios "FAST", en les désagrégeant par pays; puis en tirant les éléments qualitatifs et quantitatifs nécessaires pour MEDEE 3 d'un côté et les fonctions tabulaires du modèle de l'autre; enfin, en faisant expertiser par le groupe les résultats obtenus des fonctions tabulaires.

C) Les résultats et leur utilisation

Par nature de l'exercice, les résultats n'ont ici aucune prétention à être utilisés directement dans quelque prise de décision que ce soit. Ils constituent cependant un éclairage particulier du long terme et véhiculent généralement un message précis, ayant ainsi avant tout une valeur propre, intrinsèque.

D'une façon générale, les résultats des exercices de "prospectives indépendantes" contiennent trois types d'informations qu'il importe de bien mettre en évidence lors de leur présentation:

- une information purement "prévisionnelle", objective (que se passera-t-il si ...);

- une information plus normative: le message que l'on veut transmettre;

- une information plus théorique sur la fonction de demande d'énergie en longue période.

L'information prévisionnelle, même si elle n'est pas l'objectif premier de l'étude, est toujours présente dans ce type d'exercice: on aboutit toujours, in fine, à des projections de la demande d'énergie, en volume et en structure, associées à certaines évolutions du système social. Bien évidemment, ces projections n'ont de signification et de fiabilité que par rapport aux hypothèses d'évolution du système social contenues dans les scénarios - et en ce sens elles n'ont pas la prétention d'éclairer des décisions fondées sur une vision différente de l'évolution de ce système, mais elles n'en contribuent pas moins à compléter le "tableau prospectif" de la demande d'énergie. Aussi, pour que cette information reste utile, il s'avère nécessaire de toujours présenter les résultats prévisionnels directement en relation avec les principales hypothèses des scénarios, considérées comme les plus déterminantes.

L'information "normative" est souvent l'objet même de l'exercice. Le choix des scénarios, on l'a vu, répond ici à l'objectif de "montrer" quelque chose ou d'étudier plus à fond une question d'actualité.

Aussi les résultats de l'exercice seront-ils présentés et interprétés de façon à faire ressortir explicitement ce que l'on voulait montrer ou les réponses que l'on voulait apporter, cherchant par là à transmettre un "message". Il s'avère, dans différents exercices faits à ce jour, qu'un message ne se transmet bien que s'il s'appuie sur une mise en perspective: autrement dit, ce qui compte ici n'est pas tant la valeur absolue, intrinsèque des résultats, que leur valeur relative par rapport à d'autres résultats. C'est sur les différences - dans les hypothèses et les résultats - qu'il convient ici d'insister, d'où la nécessité de pouvoir s'appuyer sur deux ou plusieurs scénarios "contrastés", et de mettre en relief ces contrastes.

L'information théorique, comme l'information prévisionnelle, est toujours présente même si elle est peu souvent utilisée: quel que soit l'exercice en effet, il permet toujours de relier l'évolution de la demande d'énergie à celles des principales grandeurs économiques, aux niveaux macro et micro (influence du PIB, des prix, des revenus, de l'investissement, etc.).

En cela, il permet d'affiner les connaissances théoriques sur la relation liant notamment la croissance économique à la croissance énergétique. Il donne également des éléments de réflexion sur la relation inverse (croissance énergétique sur croissance économique), encore qu'il s'agisse là d'un problème très nettement plus complexe. A titre d'exemple, un exercice avec MEDEE 3 permettra d'éclairer directement les relations liant la croissance des revenus et les prix des carburants à la demande de carburants auto, mais il permettrait également d'éclairer la déformation de la structure des dépenses des ménages qui en résulte.

Bien évidemment, la qualité et l'ampleur de l'information théorique d'un exercice sont directement liées au degré d'exhaustivité de la présentation des hypothèses et des résultats.

CONCLUSION

L'approche MEDEE, on vient de le voir, a été utilisée très largement dans un grand nombre de pays, dans des contextes institutionnels très différents et avec des objectifs très variés.

Ceci ne doit pas faire oublier les limites de cette méthode, celles qui sont intrinsèquement liées à la méthode, et celles qui sont révélées à l'expérience au niveau de l'utilisation.

• Les limites intrinsèques les plus contraignantes sont de deux ordres:

• ces méthodes s'appuient sur les connaissances, notamment du stock de technologies, existant au moment de la prévision: autrement dit leur horizon temporel de validité sera fixé par le délai nécessaire pour qu'une connaissance nouvelle apparaisse, qu'elle se traduise en termes d'innovation - technologique ou sociale - et que cette innovation se diffuse de façon telle à perturber significativement la demande d'énergie. En l'état actuel des choses, ce délai est évalué à 25-30 ans.

• ces méthodes s'appuient sur des scénarios exploratoires, construits au début de l'exercice, et donc représentant une évolution "en avenir certain" du système social. Bien que des procédures de mise en cohérence des hypothèses et des résultats existent, aucune procédure systématique, interne, de rétroactions des résultats sur les hypothèses ne peut être explicitement prise en compte. Toutefois les délais nécessaires pour que ces rétroactions jouent un rôle perturbateur réellement significatif sur les hypothèses socio-économiques sont relativement longs et supérieurs, semble-t-il, à vingt ans.

• Concernant les limites révélées à l'expérience, elles sont principalement de deux ordres:

- des limites provenant de la difficulté à faire coïncider des problématiques s'exprimant sur des horizons de temps très différents: échéances politiques généralement courtes, prévision économique dépassant rarement le moyen terme (5 à 7 ans), décisions d'investissement énergétique concernant des horizons lointains (20 à 30 ans). Il y a là des sources de contradictions potentielles non négligeables qu'il importe de bien garder à l'esprit lors de l'utilisation de la méthode dans un processus d'élaboration des politiques énergétiques.

- des limites provenant de la nature et de la qualité de l'information utilisée étant donné le caractère très désagrégé de la méthode - qui oblige à recueillir précisément une quantité importante d'informations; encore qu'il ne s'agisse pas là d'une limite définitive - l'information nécessaire évoluant en qualité et en quantité - et qu'il faut relativiser par rapport à la signification que l'on veut donner aux résultats.

• on pourrait ajouter, à l'expérience, une troisième limite tenant à la difficulté observée, pour des raisons de temps, d'effectifs ou de rigueur, à procéder à la nécessaire phase finale de contrôle de cohérence, notamment entre les résultats et les hypothèses; mais il s'agit plus là d'un problème d'utilisation rigoureuse de la méthode que d'une véritable limite.

Ces limites, pour contraignantes qu'elles soient, n'enlèvent toutefois pas la richesse de telles approches, à la fois pour stimuler la réflexion prospective sur l'énergie, pour s'adapter à des problématiques prévisionnelles très différentes et pour rendre compte d'évolutions très contrastées du système socio-économique.

C'est aussi, probablement, à leur caractère "transparent" (tout est dit et tous les mécanismes sont souples) et pédagogique que ces approches doivent une partie de leur attrait.

*
* *

LE TRANSPORT DANS MEDEE-3 QUÉBEC*

par Roger Corbeil**

Résumé: Cet article présente la structure du secteur des transports dans le modèle énergétique MEDEE-3 Québec, ainsi que les principaux résultats de deux scénarios élaborés durant l'été 1983 et présentés dans le cadre du colloque tenu aux H.E.C. le 27 octobre 1983. Conformément à l'approche générale des modèles MEDEE, le sous-modèle des transports a comme caractéristique un niveau de désagrégation très poussé de la demande d'énergie. De plus, un mécanisme particulier, appelé fonction tabulaire, permet l'introduction cohérente des diverses hypothèses sur les politiques, les variables techniques et socio-économiques. L'article présente les différents modules de la demande d'énergie des transports sur lesquels porte l'analyse ainsi que leurs principaux déterminants. Le but du projet était d'obtenir un instrument transparent et flexible permettant d'analyser l'évolution à long terme de la demande énergétique du Québec.

---

* L'implantation de ce sous-modèle a pu être réalisée grâce à la collaboration de MM. Bertrand Château et Bruno Lapillonne de l'Institut économique et juridique de l'énergie (I.E.J.E.) de l'Université des Sciences sociales de Grenoble. Le présent modèle est effectivement une adaptation pour l'économie québécoise du sous-modèle des transports du modèle MEDEE-3.

Cette implantation a été un travail d'équipe auquel ont participé Mme Yrène Gagné pour l'ensemble du projet et MM. Guy Desrochers, Marcel Grenier et Christian Loiselle à titre de stagiaires de l'Université de Sherbrooke.

Par ailleurs, le logiciel informatique supportant l'ensemble du modèle, y compris le sous-modèle du transport a été élaboré par M. Gaétan Lafrance d'I.N.R.S.-Energie.

** Responsable du Groupe de l'analyse quantitative et de l'information statistique - Direction générale de l'analye économique et financière, ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.

INTRODUCTION

Cet article a pour objet la présentation du sous-modèle des transports du modèle énergétique québécois MEDEE-3 Québec. Pour une présentation générale de l'approche et de la méthodologie des modèles de type MEDEE ainsi que de leur application au cas du Québec, le lecteur peut consulter les articles de MM. Bertrand Château et Jean-Pierre Pellegrin dans le même numéro.

Rappelons brièvement que les modèles MEDEE sont des modèles technico-économiques portant sur la demande d'énergie. Ils ont comme caractéristique une désagrégation poussée en modules les plus homogènes possible. Le modèle évalue d'abord les besoins sociaux qu'il traduit en demande d'énergie utile en tenant compte des équipements - soit, dans le cas des transports en évaluant la consommation spécifique des modes de transport. Il utilise ensuite les efficacités des différentes formes d'énergie pour calculer la demande d'énergie finale.

Dans les modèles MEDEE, on a mis au point un mécanisme particulier appelé fonction tabulaire, qui permet l'introductioin cohérente des diverses hypothèses sur les politiques ainsi que sur les variables techniques et socio-économiques. Il s'agit en fait de modèles qui se veulent des instruments transparents et flexibles permettant d'analyser l'évolution à long terme de la demande énergétique du Québec.

La modélisation des transports dans MEDEE-3 Québec est inspirée directement du secteur des transports du modèle français MEDEE-3. Par contre, des adaptations importantes ont dû être introduites étant donné d'une part, les différences existant entre la France et le Québec, notamment quant à la répartition de la population sur le territoire et la situation actuelle du secteur et d'autre part, la disponibilité des données. Ces adaptations seront soulignées au passage dans la suite de l'article.

DÉTERMINATION DU BESOIN SOCIAL (TRAFIC)

A- Niveau de désagrégation des calculs

Le secteur des transports se divise en transport de personnes et transport de marchandises. Pour chacun de ces deux types de transport, le modèle distingue l'activité se déroulant en milieu urbain de celle se déroulant en milieu interurbain.

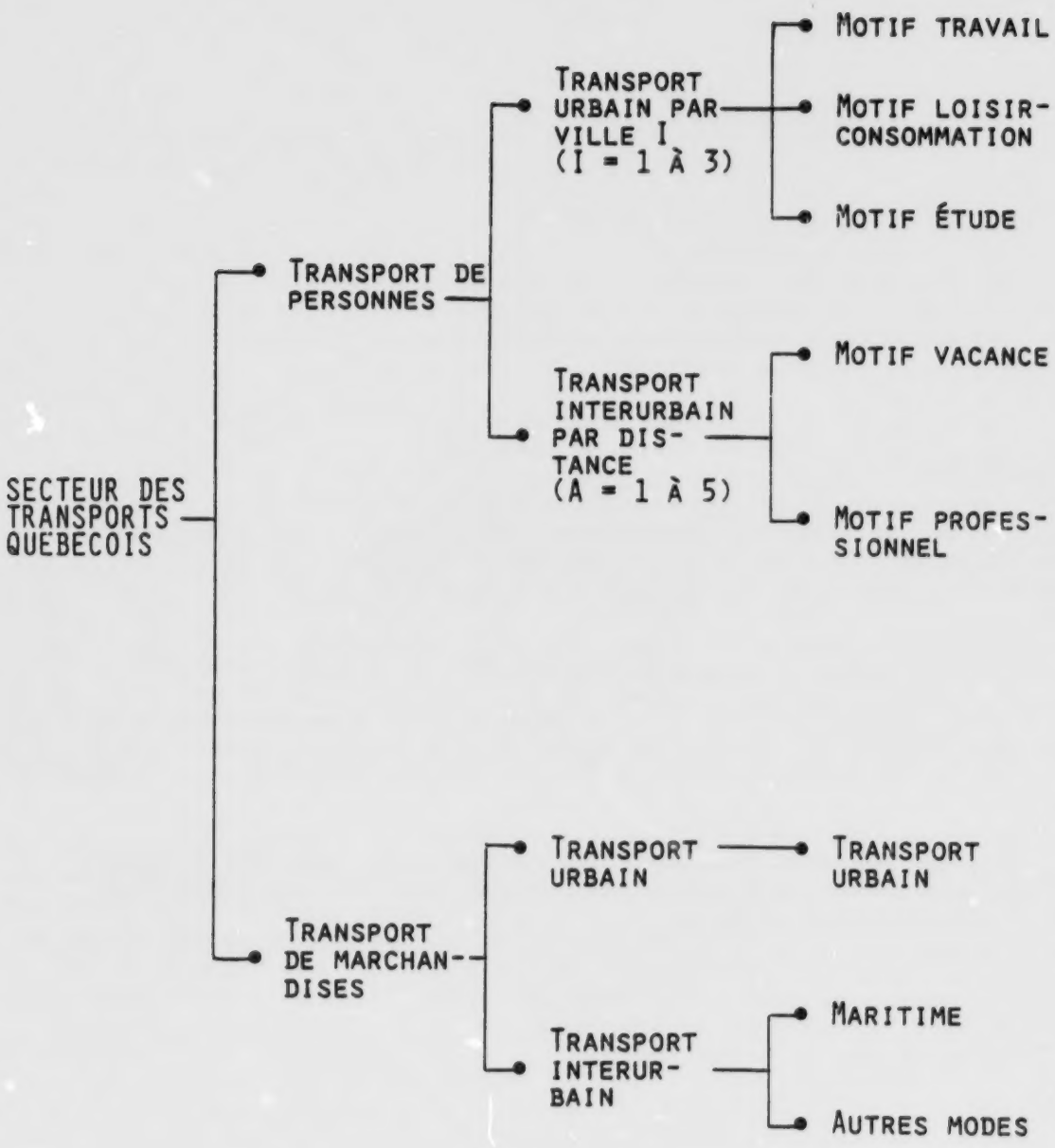
Comme le montre le diagramme 1, au niveau du transport urbain de personnes, MEDEE-3 Québec retient trois entités géographiques: Montréal, Québec et le reste du Québec incluant la partie rurale. Pour chacune de ces entités géographiques, le modèle analyse l'évolution du nombre de déplacements selon chacun des trois motifs suivants: travail, loisir-consommation et étude.

En ce qui concerne le transport interurbain de personnes, MEDEE-3 Québec distingue cinq catégories de déplacement basées sur la distance parcourue (moins de 160 km, de 160 à 320 km, etc.). Pour chaque catégorie, font l'objet d'une analyse distincte, les déplacements qui sont effectués pour le motif professionnel et les autres que nous avons agrégés sous le vocable "vacance".

Par ailleurs, MEDEE-3 Québec appréhende le besoin de transport urbain de marchandise de façon globale sans plus ample désagrégation, géographique ou autres.

Enfin, au niveau du transport interurbain de marchandises, MEDEE-3 Québec analyse séparément le trafic maritime du trafic effectué par les autres modes.

DIAGRAMME 1


SECTEUR DES TRANSPORTS QUÉBÉCOIS
TRANSPORT DE PERSONNES
TRANSPORT URBAIN PAR VILLE I (I = 1 À 3)
MOTIF TRAVAIL
MOTIF LOISIR-CONSOMMATION
MOTIF ÉTUDE
TRANSPORT INTERURBAIN PAR DISTANCE (A = 1 À 5)
MOTIF VACANCE
MOTIF PROFESSIONNEL
TRANSPORT DE MARCHANDISES
TRANSPORT URBAIN
TRANSPORT URBAIN
TRANSPORT INTERURBAIN
MARITIME
AUTRES MODES

En résumé, dans le secteur des transports de MEDEE-3 Québec, les besoins sociaux sont analysés selon 22 cellules de bases: les déplacements pour les motifs travail, consommation-loisir et étude selon chacune des trois entités géographiques retenues, les déplacements interurbains de personnes selon chacune des cinq catégories de distance pour les motifs vacance et professionnel, le volume de marchandise transportée en milieu urbain, le volume de marchandise transportée par le mode maritime et le volume de marchandise transportée en milieu interurbain par les modes autres que maritime.

B- Transport urbain de personnes

Pour chaque ville (entité géographique) et pour chaque période, le nombre de déplacements domicile-travail est déterminé à partir d'hypothèses sur l'emploi, le nombre annuel moyen de jours travaillés par employé et le nombre moyen de ce type de déplacement par jour et par personne employée.

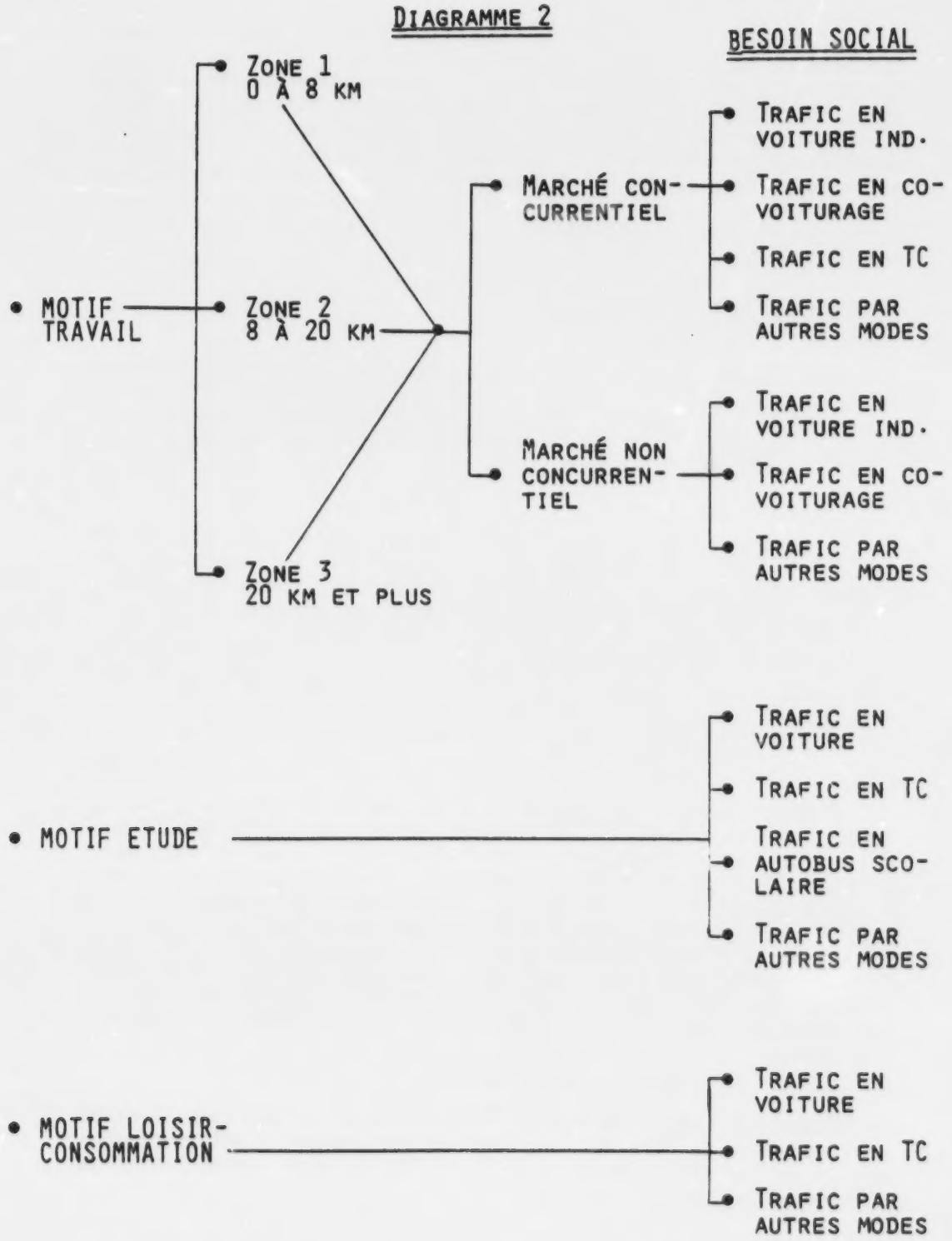
Le nombre de déplacements loisir-consommation est quant à lui calculé à l'aide d'une fonction tabulaire dont les arguments sont l'état de la croissance économique (CROIECO: revenu par ménage, taux de motorisation, etc.) et l'évolution des télécommunications.

Le nombre de déplacements pour fin d'étude dépend du nombre d'étudiants à chaque période qui est directement fonction des hypothèses démographiques retenues dans chaque scénario.

Comme on peut le voir dans le diagramme 2, le nombre de déplacements domicile-travail est ensuite ventilé en déplacements concurrentiels et en déplacements non-concurrentiels sur la base de la disponibilité du transport en commun. Les navetteurs sont tout d'abord répartis en trois zones d'éloignement par rapport à leur travail à l'aide de fonctions tabulaires dont les arguments sont l'état de la croissance économique et la dérive des prix du pétrole. Un autre groupe de fonctions tabulaires déterminent l'évolution du taux de disponibilité du transport en commun dans chacune des zones en fonction des objectifs de la politique de transport (POLTRAN).

Cette ventilation en marchés concurrentiel et non-concurrentiel n'a cependant pu être retenue pour les déplacements loisir-consommation et les déplacements pour fin d'étude étant donné l'état de l'information statistique disponible.

DIAGRAMME 2


BESOIN SOCIAL
MOTIF TRAVAIL
ZONE 1 0 À 8 KM
ZONE 2 8 À 20 KM
ZONE 3 20 KM ET PLUS
MARCHÉ CONCURRENTIEL
MARCHÉ NON CONCURRENTIEL
TRAFIC EN VOITURE IND.
TRAFIC EN COVOITURAGE
TRAFIC EN TC
TRAFIC PAR AUTRES MODES
TRAFIC EN VOITURE IND.
TRAFIC EN COVOITURAGE
TRAFIC PAR AUTRES MODES
MOTIF ETUDE
TRAFIC EN VOITURE
TRAFIC EN TC
TRAFIC EN AUTOBUS SCOLAIRE
TRAFIC PAR AUTRES MODES
MOTIF LOISIR-CONSOMMATION
TRAFIC EN VOITURE
TRAFIC EN TC
TRAFIC PAR AUTRES MODES

Enfin, le nombre de déplacement est multiplié par la distance moyenne propre à chaque type pour chacune des entités géographiques. Nous obtenons alors le besoin social du transport québécois de personnes en milieu urbain soit le trafic exprimé en termes de passagers-kilomètres selon quatre agrégats par ville: trafic domicile-travail concurrentiel, trafic domicile-travail non-concurrentiel, trafic loisir-consommation et trafic étude. L'évolution des distances moyennes de déplacement découle directement de la croissance démographique retenue dans un scénario et de l'étalement anticipé de chaque ville.

C- Transport interurbain de personnes

Pour chaque catégorie de distance retenue (5), pour le motif vacance, le modèle détermine un taux de déplacements par ménage à partir de fonctions tabulaires dont les arguments sont l'état de la politique social (POLSOC) et la croissance économique.

Par ailleurs, selon les mêmes catégories de distance, le nombre de déplacements professionnels dépend d'hypothèses sur l'élasticité de ce nombre de déplacements professionnels par rapport à l'emploi dans le tertiaire et sur les taux de substitution entre ces déplacements et les télécommunications.

Comme pour le transport urbain de personnes, le besoin social est obtenu en multipliant le nombre de déplacements par la distance moyenne. Nous obtenons ainsi un trafic en termes de passagers-kilomètres pour chacune des dix catégories motif-distance retenues.

Les distances moyennes utilisées par catégories sont cependant constantes dans le temps contrairement au transport urbain de personnes. L'évolution de la distance moyenne globale parcourue par ménage est obtenue à travers les changements dans la distribution de leurs déplacements par catégorie de distance.

D- Transport urbain de marchandises

L'évolution du besoin social pour le transport urbain de marchandises, soit le trafic exprimé en tonnes-kilomètres remorquées, est calculé directement à l'aide d'une équation qui établit une relation entre la consommation et la production de biens d'une part, et d'autre part, le transport ainsi induit. Les paramètres

de cette équation ont été obtenus à partir de corrélations statistiques calculées sur les données disponibles, soient celles portant sur la période 1971-1978.

E- Transport interurbain de marchandises

L'ensemble des tonnes-kilomètres remorquées par les modes autres que maritimes (routier, ferroviaire, aérien) est calculé d'une façon analogue à celle du trafic de marchandises en milieu urbain.

Par ailleurs, pour le mode maritime, le trafic en termes de tonnes-kilomètres remorquées dépend principalement des hypothèses sur la croissance de la production québécoise de minerai de fer et sur le volume de blé canadien qui sera exporté par la Voie maritime du St-Laurent. Ces deux produits constituent en effet la majeure partie de l'activité du mode maritime. L'évolution de la production de minerai de fer est lié à la croissance mondiale. Par contre, le tonnage de blé remorqué est une variable hors scénario dans le modèle car son évolution dépend pour une bonne part des décisions du gouvernement central qui ne sont pas liées à un scénario de croissance donné.

DÉTERMINATION DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE UTILE

A- Description globale

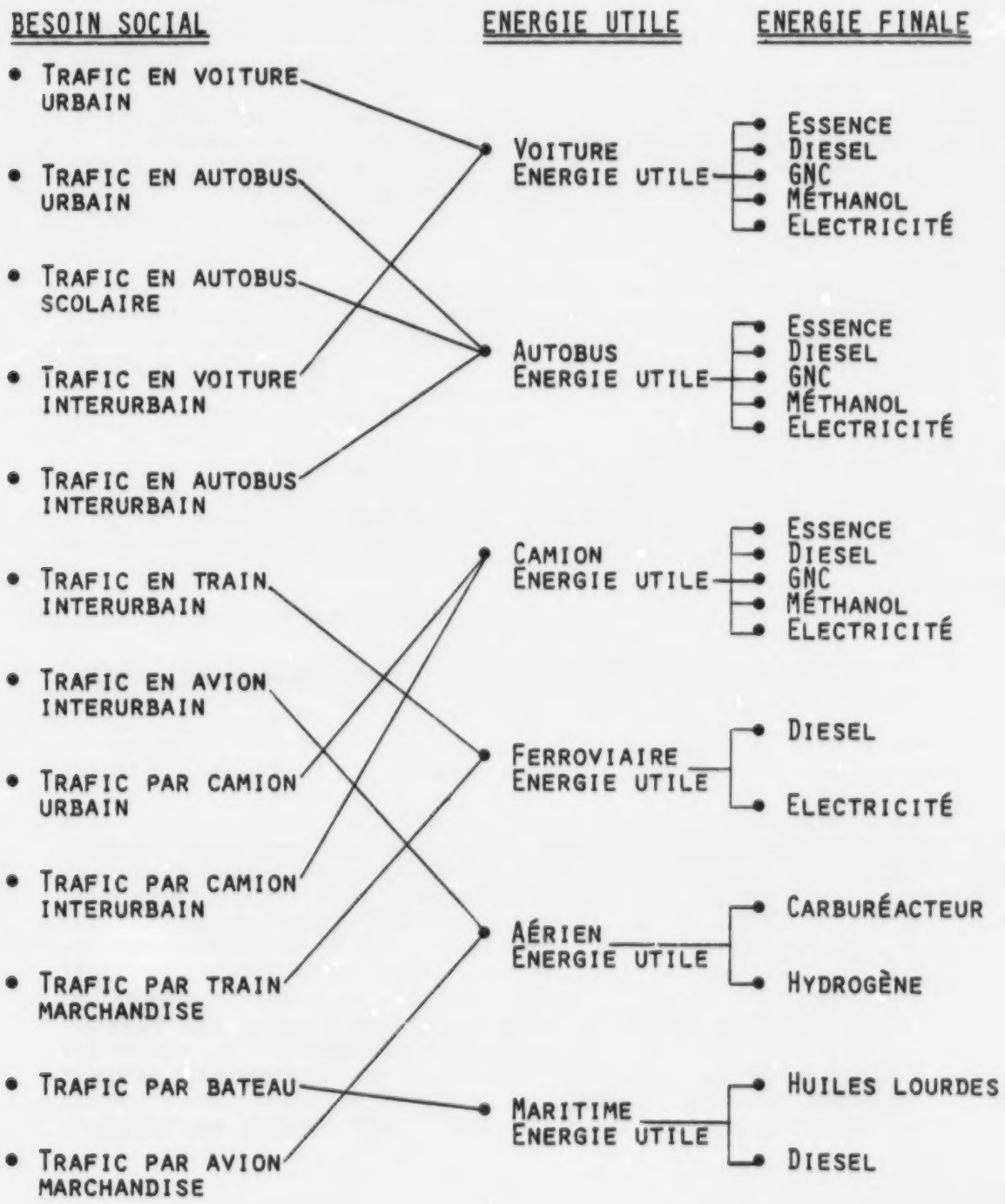
Le passage du besoin social (trafic en passagers-kilomètres et tonnes-kilomètres) à la demande d'énergie utile se fait en deux étapes principales dans le sous-modèle des transports. Premièrement, chaque trafic est réparti selon les différents modes de transport utilisés tel qu'illustré dans les diagrammes 2 et 3. Pour le transport de personnes et pour chaque milieux (urbain et interurbain), une étape intermédiaire consiste ensuite à agréger ces trafics par type d'équipement pour chacun des milieux (urbain et interurbain) et à les transformer de passagers-kilomètres à véhicules-kilomètres en tenant compte du taux de remplissage de ces équipements de transport (voiture, autobus, etc.). Par exemple, le nombre de véhicule-kilomètres parcourus en voiture en milieu urbain est obtenu par la sommation des termes suivants: trafic domicile-travail concurrentiel en voiture individuelle, trafic domicile-travail concurrentiel en covoiturage divisé par le nombre moyen de personnes par voiture, trafic domicile-travail non-concurrentiel en

DIAGRAMME 3

BESOIN SOCIAL

- MOTIF VACANCE
  - TRAFIC EN VOITURE
  - TRAFIC EN AUTOBUS
  - TRAFIC EN TRAIN
  - TRAFIC EN AVION
- MOTIF PROFESSIONNEL
  - TRAFIC EN VOITURE
  - TRAFIC EN AUTOBUS
  - TRAFIC EN TRAIN
  - TRAFIC EN AVION
- TRANSPORT DE MARCHANDISES URBAIN
  - TRAFIC PAR CAMION
- TRANSPORT DE MARCHANDISES MARITIME
  - TRAFIC PAR AUTOBUS
- TRANSPORT DE MARCHANDISES INTERURBAIN - AUTRES MODES
  - TRAFIC PAR TRAIN
  - TRAFIC PAR CAMION
  - TRAFIC PAR AVION

DIAGRAMME 4


BESOIN SOCIAL
ENERGIE UTILE
ENERGIE FINALE
• TRAFIC EN VOITURE URBAIN
• TRAFIC EN AUTOBUS URBAIN
• TRAFIC EN AUTOBUS SCOLAIRE
• TRAFIC EN VOITURE INTERURBAIN
• TRAFIC EN AUTOBUS INTERURBAIN
• TRAFIC EN TRAIN INTERURBAIN
• TRAFIC EN AVION INTERURBAIN
• TRAFIC PAR CAMION URBAIN
• TRAFIC PAR CAMION INTERURBAIN
• TRAFIC PAR TRAIN MARCHANDISE
• TRAFIC PAR BATEAU
• TRAFIC PAR AVION MARCHANDISE
VOITURE ENERGIE UTILE
AUTOBUS ENERGIE UTILE
CAMION ENERGIE UTILE
FERROVIAIRE ENERGIE UTILE
AÉRIEN ENERGIE UTILE
MARITIME ENERGIE UTILE
ESSENCE
DIESEL
GNC
MÉTHANOL
ELECTRICITÉ
ESSENCE
DIESEL
GNC
MÉTHANOL
ELECTRICITÉ
ESSENCE
DIESEL
GNC
MÉTHANOL
ELECTRICITÉ
DIESEL
ELECTRICITÉ
CARBURÉACTEUR
HYDROGÈNE
HUILES LOURDES
DIESEL

voiture individuelle, trafic domicile-travail non-concurrentiel en covoiturage divisé par le nombre moyen de personnes par voiture, trafic étude en voiture divisé par le nombre moyen de personne par voiture, trafic loisir-consommation divisé par le nombre moyen de personnes par voiture pour ce type de déplacements.

Tel qu'illustré dans le diagramme 4, la deuxième étape consiste à agréger de nouveau et transformer ces trafics (maintenant exprimés en véhicules-kilomètres ou tonnes-kilomètres) en demande d'énergie utile selon six types d'équipements de transport (voiture, autobus, train, camion, avion, bateau). Le calcul tient compte de la consommation spécifique (litre par kilomètre) ou de la demande unitaire (litre par tonne-kilomètre remorquée) de chaque équipement de transport sur chacun des marchés où il est utilisé. Cependant, si la consommation spécifique (ou demande unitaire) d'un type d'équipement donné varie d'un marché à l'autre (milieu urbain par rapport au milieu interurbain), les consommations spécifiques utilisées ici sont celles obtenues avec le carburant le plus en usage en 1978 pour ce type d'équipement de transport (essence pour la voiture, diesel pour le train, etc.). Nous obtenons alors une demande virtuelle de carburant, soit la demande qui prévaudrait si la totalité du trafic d'un équipement de transport donné était effectuée avec le carburant dominant en 1978. C'est ainsi que la demande virtuelle de carburant de la voiture est obtenue en additionnant, d'une part, le trafic urbain en voiture multiplié par la consommation spécifique urbaine des voitures fonctionnant à l'essence à, d'autre part, le trafic interurbain en voiture multiplié par la consommation interurbaine des voitures fonctionnant à l'essence. Le modèle multiplie ensuite cette demande virtuelle par le rendement énergétique des moteurs fonctionnant avec le carburant dominant pour calculer l'énergie utile par type d'équipement de transport.

B- Répartition par mode

a) Transport urbain de personnes

1) Les modes considérés

Comme il a été déjà mentionné auparavant, au niveau du transport urbain de personnes, la répartition par mode dans chacune des villes se fait donc à partir de quatre agrégats: le trafic domicile-travail concurrentiel, le trafic domicile-travail non-concurrentiel, le trafic loisir-consommation et le trafic étude.

• Pour le trafic domicile-travail concurrentiel, quatre modes ont été retenus: la voiture individuelle, le covoiturage, le

transport en commun et le mode "autres". Il s'agit ici d'une légère divergence par rapport à MEDEE-3 qui ne considère pas le covoiturage comme un mode particulier. On y fait plutôt une hypothèse sur l'évolution du nombre de personnes par voiture. Nous avons cru bon distinguer le covoiturage parce que, d'une part, le phénomène est important et les données disponibles et que, d'autre part, il s'avérera sans doute plus facile de simuler l'impact d'une éventuelle politique sur le covoiturage qui est déjà considérée par les gouvernements.

- Par ailleurs, la répartition du trafic domicile-tavail non-concurrentiel se fait selon les mêmes modes sauf le mode transport en commun.

- Enfin, pour les trafics loisir-consommation et étude, les modes covoiturage et voiture individuelle sont agrégés.

2) Le mécanisme de répartition par mode

Au niveau du mécanisme de répartition par mode comme tel, nous nous éloignons sensiblement de MEDEE-3 France. En effet, comme nous ne disposons pour l'instant d'aucune information quant à l'utilisation des transports en commun par groupe socio-économique, il s'avère impossible d'utiliser plusieurs classes de ménage dans nos calculs. Par ailleurs, environ 92% des déplacements urbains en transport en commun en 1980 ont été effectués à Montréal (83%) ou à Québec. Il nous était donc impossible d'utiliser l'approche de MEDEE-3 où un certain surcoût par classe de ménage est imposé au transport en commun, les déplacements de chaque classe étant ensuite attribués au transport en commun soit à 100% , 50% ou 0% selon le résultat de la comparaison entre son coût global d'utilisation et celui de l'automobile à travers un seuil de sensibilité. Avec une seule classe de ménage et la concentration géographique actuelle de l'utilisation des transports en commun, une telle approche donnerait des résultats beaucoup trop volatiles.

Dans MEDEE-3 Québec, la répartition par mode des trafics urbains de personnes peut se faire de deux façons. L'utilisateur doit déterminer son choix avant le début de la simulation.

Le premier mécanisme détermine directement la répartition du trafic par mode sur chacun des marchés à l'aide d'une fonction tabulaire dont les arguments sont les objectifs de la politique de transport à chaque période. Ce mécanisme permet de simuler l'impact sur la demande d'énergie de l'atteinte de certains objectifs sans tenir compte des moyens de cette politique.

Si le deuxième mécanisme(1) est choisi, la part de chacun des modes sur chacun des marchés est calculée à l'aide de fonctions tabulaires dont les arguments sont d'une part, l'état de l'indice du coût global relatif à chaque période et d'autre part, l'état de l'indice relatif de qualité à chaque période.

L'indice du coût global relatif d'un mode sur un marché donné est calculé en divisant le coût global du mode sur ce marché par le coût global des autres modes pondérés par leur part de marché respective à la période précédente. Le coût global d'un mode dépend des hypothèses sur la dérive des prix du pétrole, l'inflation générale, sa consommation spécifique et la politique gouvernementale de subvention et de taxation. En ce qui concerne la voiture individuelle, ce coût global proprement dit est ajusté pour tenter de tenir compte de l'effet revenu induit par une progression différente du coût d'utilisation d'une voiture et du revenu par ménage.

En appliquant une formule analogue aux indices qualité, le modèle obtient les indices relatifs de qualité par mode. Ces indices qualité (1978 égale 1.0) veulent tenir compte de l'amélioration du service du nombre de départ de la vitesse etc. d'un mode donné. L'évolution de ces indices qualité dépend elle-même de fonctions tabulaires dont les arguments sont la politique des transports et l'évolution autonome de la technologie(2).

---

(1) A noter que ce deuxième mécanisme n'est pas opérationnel. L'information statistique nécessaire pour alimenter le modèle est encore insuffisamment complétée bien que la modélisation elle même soit terminée. Pour tous les modules du modèle qui permettent théoriquement un choix entre les deux mécanismes de répartition, seul le premier peut donc être utilisé actuellement.

(2) Dans MEDEE-3 France, on rencontre parfois l'élément "temps" comme argument dans une fonction tabulaire. Ceci implique qu'une telle fonction tabulaire se modifie de période en période, indépendamment de la variation des autres arguments de la fonction tabulaire, pour tenir compte d'un ou de plusieurs déterminants hors scénarios pertinents à l'évolution de la variable calculée à l'aide de cette fonction tabulaire. On dit alors d'une telle fonction tabulaire qu'elle est datée. Dans MEDEE-3 Québec, contrairement à MEDEE-3 France, les fonctions tabulaires sont automatiquement datées étant donné le logiciel utilisé. Si cela s'avère nécessaire, cette caractéristique nous permet, sans qu'il soit besoin de le faire à l'aide d'un argument "temps" explicite et pour toute variable dépendant d'une fonction tabulaire, d'introduire les déterminants hors scénario pertinents. C'est ainsi que l'évolution technologique autonome est prise en compte dans beaucoup de fonction tabulaire touchant le secteur des transports.

3) Engorgement

Comme dans le modèle français, MEDEE-3 Québec permet l'introduction de certaines contraintes d'engorgement aux heures de pointe. L'hypothèse implicite modélisée implique que ces contraintes sont satisfaites par l'ajustement de la répartition des déplacements domicile-travail concurrentiels. La répartition des autres types de déplacements n'est donc pas affectuée.

4) Contrainte

Notons également que, bien que nous n'en parlions pas dans le reste du chapitre, la plupart des contraintes physiques qui existent dans MEDEE-3 ont été introduites dans MEDEE-3 Québec (par exemple, sur le taux de croissance du transport en commun). Il faut cependant ajouter qu'elles s'avèrent souvent inutiles, notamment dans le transport interurbain, étant donné l'état actuel du réseau routier québécois, sa géographie et la croissance maximale de la population prévue.

b) Transport interurbain de personnes

Au niveau du transport interurbain de personnes quatre modes sont considérés: voiture, autobus, train, avion. Pour chacune des cinq catégories de déplacement retenus, la répartition peut se faire selon les deux façons déjà décrites pour le transport urbain de personnes. D'une part, une répartition en fonction des objectifs de la politique des transports et, d'autre part, une répartition à partir de fonctions tabulaires dont les arguments sont l'état de l'indice du coût global relatif et l'état de l'indice relatif qualité-disponibilité.

c) Transport de marchandises

Tel que déjà vu, le modèle calcule le besoin social au niveau du transport des marchandises selon trois agrégats: trafic urbain de marchandises, trafic maritime de marchandises et trafic interurbain de marchandises autres que maritime.

Le trafic urbain de marchandises est attribué dans son ensemble au mode routier tandis que le trafic maritime est attribué au mode maritime.

Par ailleurs, l'ensemble des tonnes-kilomètres remorquées en milieu interurbain par les autres modes (routier, aérien, ferroviaire) est réparti à l'aide de trois fonctions tabulaires dont les arguments sont les objectifs de la politique des transports et l'évolution technologique.

C- Consommation spécifique

a) Consommation spécifique de la voiture

MEDEE-3 Québec modélise de façon plus détaillée que MEDEE-3 France la consommation spécifique de la voiture individuelle. Le Québec vit présentement des changements importants dans la composition de son parc automobile et les hypothèses sur le comportement des acheteurs auront un impact significatif sur la demande de carburant.

L'évolution de la consommation spécifique de la voiture individuelle dans son usage interurbain est obtenue par le produit de deux facteurs: un indice d'amélioration du rendement de la voiture par catégorie (au nombre de quatre, basées sur le poids) et l'évolution de la ventilation du stock par catégorie. En ce qui concerne l'usage urbain, un troisième facteur est ajouté soit un indice d'amélioration de la circulation dans chaque ville que l'on fait dépendre de l'état de la politique des transports (POLTRAN).

L'indice d'amélioration du rendement de la voiture pour chaque catégorie répond à une fonction tabulaire dont l'unique argument est le prix international du pétrole. Nous avons exclu POLENE, la politique énergétique et POLENV, la politique environnementale, parce que l'on considère qu'elles n'ont que peu d'influence sur les développements technologiques dans ce domaine qui proviennent de l'extérieur (Etats-Unis, Japon, etc.).

Quant à l'évolution de la ventilation du stock d'automobile par catégorie elle est obtenue par une fonction tabulaire dont les arguments sont la dérive du prix international du pétrole (IDPE), la politique de taxation (POLENE) et la croissance économique (CROISECO).

b) Consommation spécifique des transports en commun de personnes

La politique des transports et la dérive du prix international du pétrole déterminent l'évolution de la consommation spécifique du

transport en commun urbain et du transport interurbain par autobus de même que celle du mode ferroviaire.

La consommation par passager pour le mode aérien dépend uniquement quant à elle de la dérive du prix international du pétrole.

c) Consommation spécifique du transport de marchandises

Dans le transport de marchanidses, MEDEE-3 Québec ne détermine pas la consommation spécifique de chaque véhicule, mais plutôt la demande de carburant induite par le transport d'une tonne de marchandises par kilomètre selon chaque mode. L'évolution de ces demandes unitaires dépend d'une série de fonctions tabulaires, une pour chaque mode, dont les arguments sont la politique énergétique et le prix international du pétrole. En outre, pour le trafic local de marchandises, MEDEE-3 Québec tient compte de l'indice d'amélioration de la circulation par ville. A noter que l'évolution de ces consommations unitaires résume l'amélioration technique des véhicules, le taux de remplissage et l'évolution de la dimension des véhicules.

DEMANDE D'ÉNERGIE FINALE

L'évolution de la part de chaque carburant (1) sur chacun des marchés n'est pas modélisée de façon détaillée et explicite dans la présente version de MEDEE-3 Québec. Tel qu'illustré dans le diagramme 4, pour chacun des six types d'équipement de transport retenus, l'énergie utile est directement ventilée à l'aide de fonctions tabulaires selon les carburants considérés(2). Les arguments de ces fonctions tabulaires sont l'état de la politique énergétique et la dérive du prix international du pétrole.

En utilisant ensuite le rendement énergétique de chaque carburant (exogène) et en sommant sur les différents marchés, le modèle calcule la demande finale virtuelle par forme d'énergie. Le modèle

---

(1) Y compris l'électricité.
(2) Ce sont les carburants (formes d'énergie) présentement utilisés plus les carburants (formes d'énergie) pouvant être éventuellement utilisés par un type d'équipement donné.

multiplie alors cette demande virtuelle par une série de coefficients d'ajustement pour obtenir la demande finale réelle. Ces coefficients d'ajustements ont été déterminés en comparant la demande virtuele obtenue par le modèle pour chaque forme d'énergie à l'année de base avec la demande finale réelle observée.

L'utilisation du concept de variable virtuelle permet d'analyser un phénomène à un niveau désagrégé même lorsque l'information n'est pas complète à ce niveau. Par exemple, si nous ne possédons que 90% de l'information, l'utilisation d'un coefficient d'ajustement revient à faire l'hypothèse que l'agrégat total se comportera comme le 90% que l'on a analysé. Il est avantageux d'utiliser ce concept tout au long de la chaîne des calculs d'un modèle de type MEDEE et non pas uniquement à la fin, soit chaque fois que l'on possède des données observées compatibles avec le cadre statistique général du modèle. Par exemple, si l'on connait le nombre de véhicules-kilomètres parcourus en voiture en milieu urbain pour l'ensemble du Québec à l'année de base sans en connaître la répartition exacte par ville et par motif, il est important de sommer les résultats donnés par les calculs détaillés du modèle et de les ajuster immédiatement au niveau de l'agrégat connu. Ce mécanisme amoindrit les biais que pourraient induire les changements structurels d'un secteur par exemple la diminution de l'importance relative du transport interurbain de personnes par rapport au transport urbain de personnes. Dans le sous-secteur des transports, ce mécanisme a effectivement été utilisé à plusieurs reprises dans la chaîne des calculs. Nous n'y avons fait référence qu'à la fin dans le but de ne pas alourdir la présentation.

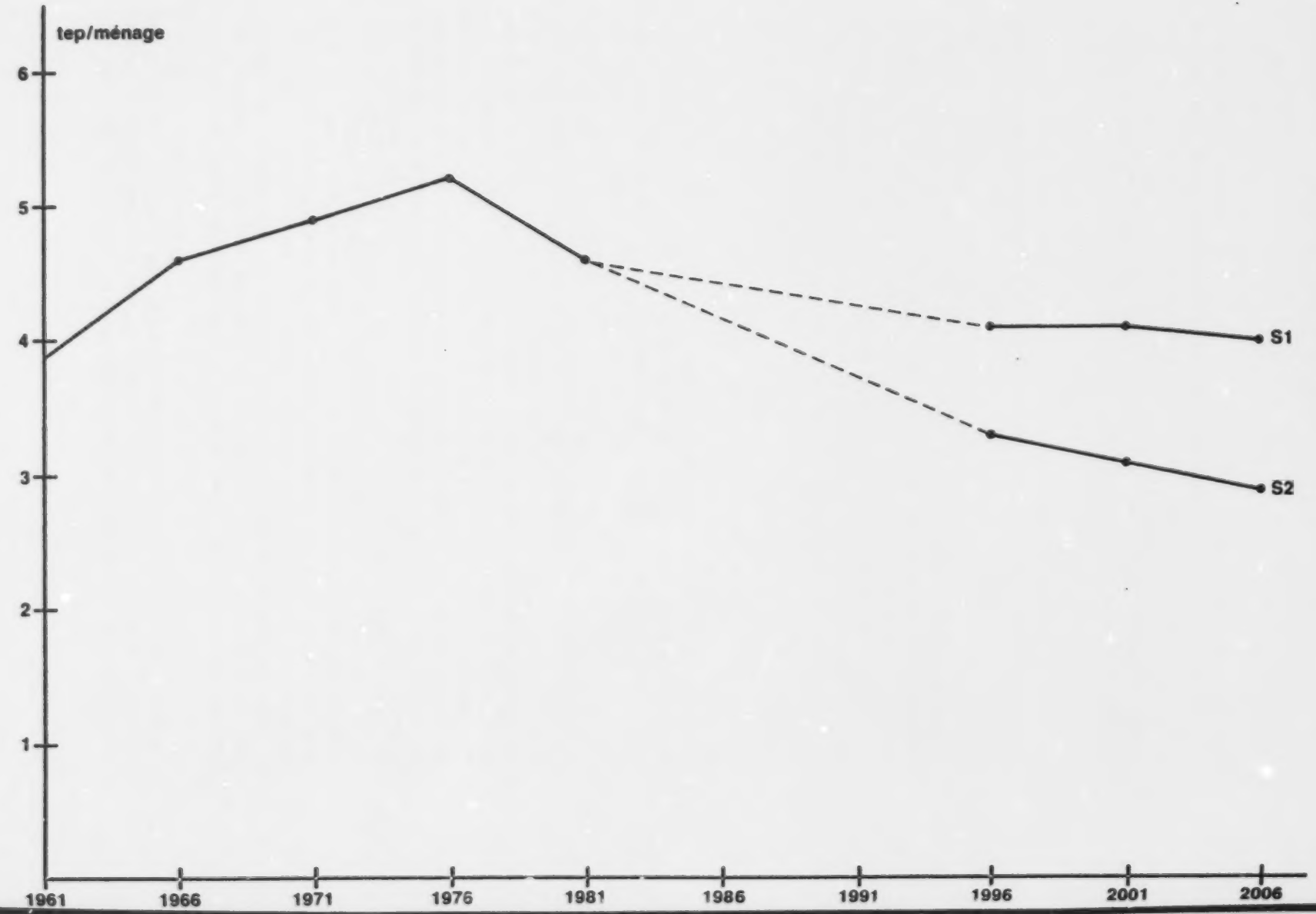
QUELQUES RÉSULTATS

Le graphique 1 de même que les histogrammes 1 et 2 présentent les principaux résultats de deux scénarios[1] qui ont été présentés lors du séminaire MEDEE-MARKAL tenu à l'Université de Montréal le 27 octobre 1983. Il serait trop long d'énumérer ici l'ensemble des hypothèses qui sous-tendent chacun des scénarios. On peut, cependant, caractériser le scénario 1 par une croissance économique annuelle moyenne de 3%, une politique gouvernementale favorable au transport en commun et aux énergies nouvelles et un prix du pétrole en 2006 de 23% supérieur en termes réels au niveau atteint en 1981. Dans le scénario 2, la croissance économique prévue est nulle, on suppose une politique gouvernementale favorable au transport en

1- En fait, quatre sous-scénarios ont été élaborés (1A, 1B, 2A et 2B). Cependant, les variantes A et B des scénarios principaux 1 et 2 n'affectent pas le secteur des transports.

GRAPHIQUE 1

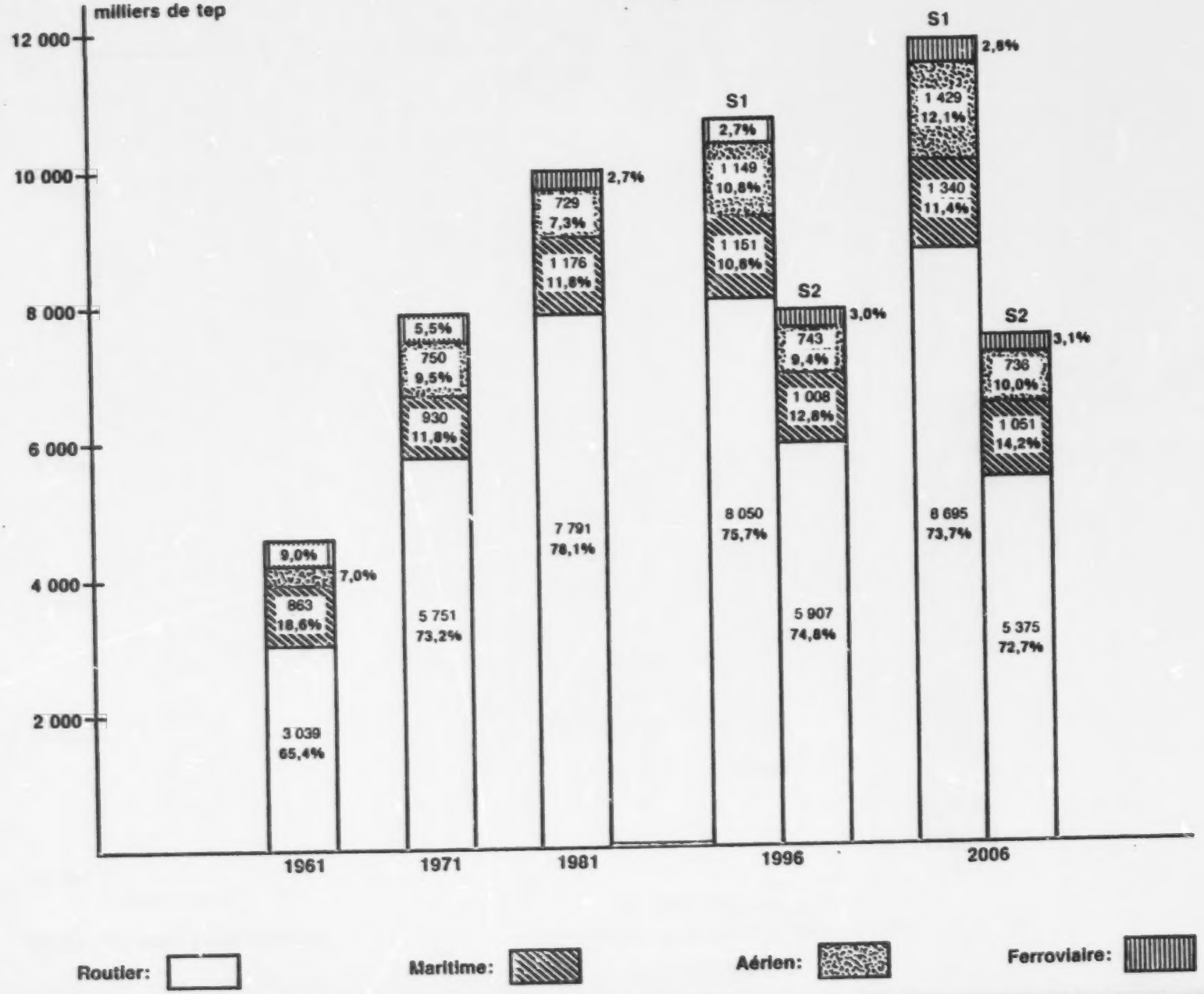
Secteur des transports: **Consommation d'énergie par ménage en tep**



HISTOGRAMME 1

Secteur des transports:

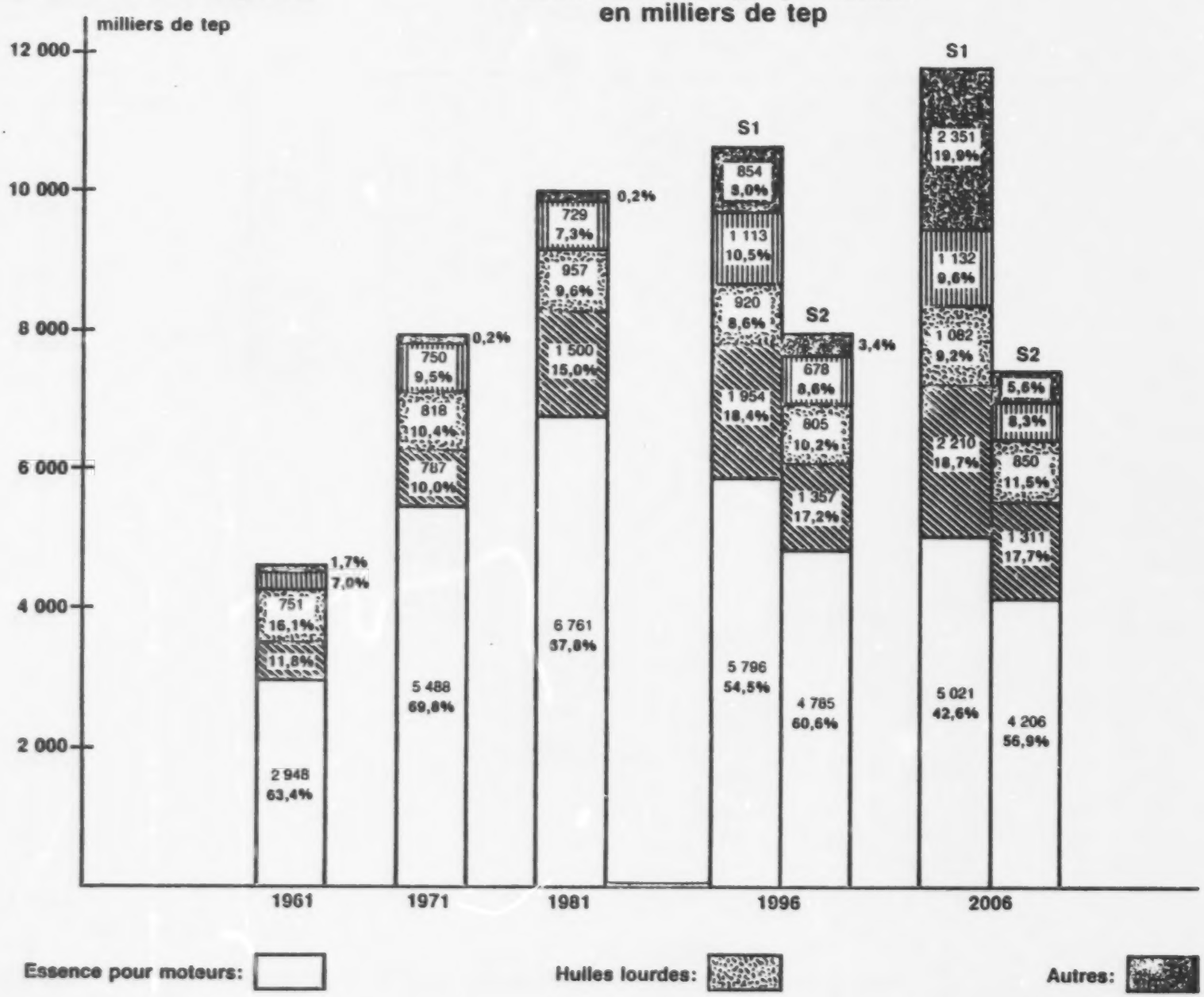
Demande d'énergie par mode en milliers de tep



HISTOGRAMME 2

Secteur des transports:

Demande d'énergie par forme en milliers de tep



commun mais beaucoup moins agressive du côté des énergies nouvelles et le prix du pétrole en 2006 est de 9% inférieur au niveau atteint en 1981.

Ces premiers travaux jettent déjà un certain éclairage sur l'évolution possible du secteur des transports québécois. Voici les grandes lignes des résultats:

- au niveau de la consommation totale d'énergie

  - pour les deux scénarios, la demande d'énergie par ménage est inférieure en 2006 au niveau atteint en 1981;

  - l'écart de la demande d'énergie entre les deux scénarios est inférieur à celui du P.I.B.; en 2006 le P.I.B. du scénario 1 est de 2,1 fois supérieur au P.I.B. du scénario 2 alors que la demande d'énergie du secteur des transports n'est que de 1,6 fois supérieure;

- au niveau de la consommation par mode

  - le mode routier demeure prépondérant dans les deux scénarios bien que son importance relative diminue quelque peu;

  - dans le scénario 1, cette diminution se fait en faveur du mode aérien;

  - dans le scénario 2, les modes aérien, maritime et ferroviaire augmentent leur importance relative en maintenant leur demande d'énergie en termes absolus alors que la demande du mode routier diminue;

- au niveau de la consommation par forme

  - l'importance relative de la demande d'essence pour moteurs diminue dans les deux scénarios mais beaucoup plus fortement dans le scénario 1;

  - parallèlement, la pénétration des énergies nouvelles (méthanol, hydrogène, etc.) est beaucoup plus forte dans le scénario de forte croissance (scénario 1) que dans le scénario de stagnation.

CONCLUSION

Le but recherché dans l'élaboration du modèle MEDEE-3 Québec dans son ensemble peut être repris pour le secteur des transports: mise en place d'un instrument de prévision relativement désagrégé, cohérent et qui permet l'introduction facile des politiques gouvernementales pour l'élaboration de scénarios.

Les travaux d'élaboration des scénarios présentés dans le cadre du séminaire MEDEE-MARKAL permettent de conclure que le modèle des transports rencontre les normes minimales sur chacun de ces critères. Il y a cependant place à l'amélioration et ces travaux nous ont permis de dégager les priorités sur lesquelles devraient porter les prochains efforts.

En premier lieu, il s'agirait de décortiquer davantage les déplacements urbains que nous avons regroupés sous le vocable "loisir-consommation". Cette catégorie n'est pas homogène et une ventilation plus fine de ces déplacements nous permettrait probablement de mieux cerner les évolutions possibles.

Deuxièmement, il serait important de rendre opérationnel le mécanisme de choix des modes de transport qui repose sur les indices relatifs de coût et de qualité.

Enfin, l'amélioration de la qualité des données constituent une préoccupation constante de tout modèle de type très désagrégé comme MEDEE-3.

Sur ces trois points, des travaux sont déjà planifiés au cours de l'année 1984.

*
* *

LISTE DES REFERENCES

- B. Château et B. Lapillonne, La lettre no 2 de MEDEE, l'approche MEDEE-3, I.E.J.E., mars 1982.

- B. Château et B. Lapillonne, Guide d'élaboration des scénarios associés au modèle MEDEE-3, I.E.J.E., Grenoble, janvier 1980.

- B. Château et B. Lapillonne, Liste des variables de la base de données de MEDEE-3, mai 1982.

- Asselin, Benoît, Boucher, Ducharme, Lapointe Inc. (ABBDL), Evaluation du rendement énergétique du secteur des transports au Québec, Montréal, mai 1980.

- C.T.C.U.M., La mobilité des Montréalais: Enquête origine-destination, Montréal, 1978.

- C.T.C.U.Q., Enquête origine-destination, Québec, 1981.

- Conseil des sciences du Canada, Voyages interurbains au Canada, Ottawa, 1982.

- Khan, M. Ata, Le rôle futur de l'automobile au Canada, Ottawa, 1982, 54 pages.

- Ministère de l'Industrie, du Commerce et du Tourisme (MICT), Enquête sur les voyages des canadiens E.V.C.; volume 3, les voyages des résidants des autres provinces canadiennes au Québec, en 1978, 1979 et 1980, Québec, 1982, 196 pages.

- Ministère de l'Industrie, du Commerce et du Tourisme (MICT), Enquête sur les voyages des Canadiens E.V.C.; volume 2, les voyages des Québécois au Québec en 1978, 1979 et 1980, Québec, août 1982, 140 pages.

- Ministère de l'Industrie, du Commerce et du Tourisme (MICT), Enquête sur les voyages des Canadiens E.V.C.; volume 1, les voyages des Québécois à l'extérieur du Québec en 1978, 1979 et 1980, Québec, septembre 1982, 231 pages.

- Ministère de l'Energie et des Ressources, Statistiques de l'énergie au Québec, 1979-1981.

- Statistique Canada, Enquête sur les voyages des canadiens; canadien voyageant au Canada 1979 et 1980, Ottawa, catalogue 87-504 hors série, avril 1982, 88 pages.

- Statistique Canada, Déplacements entre le domicile et le lieu de travail, 1976-1980, Ottawa, catalogue 87-503 hors série, mars 1982, 67 pages.

- Transports Canada: Planification stratégique, Transports et télécommunication: les effets potentiels des innovations en télécommunications sur le transport interurbain des passagers au Canada, Ottawa, janvier 1982, 65 pages.

LES SECTEURS RESIDENTIEL ET COMMERCIAL DANS MEDEE-3 QUEBEC

par Gaétan Lafrance* et Jean-Pierre Surprenant**

Résumé: La construction des modèles résidentiel et commercial de MEDEE-3 Québec (1) a été effectuée en respectant l'approche des autres concepteurs de modèles technico-économiques à plusieurs points de vue.

D'une part, pour ce qui est de construire des scénarios cohérents, notre approche est très semblable à celle utilisée dans MEDEE-3 (2) en France. La structure modulaire adoptée ressemble aussi à plusieurs modèles existants. Par exemple, la désagrégation par usage dans le secteur résidentiel n'est pas très éloignée de celle utilisée par Hydro-Québec.

D'autre part, compte tenu des buts poursuivis, de l'état de la base statistique existante et des particularités de la situation énergétique québécoise, le modèle MEDEE-3 Québec se démarque significativement des autres modèles tant par le degré de désagrégation choisi, que par le type de relations et le concept informatique retenus. Cette distinction est particulièrement importante dans le modèle commercial et dans les mécanismes de formation de la demande finale d'énergie.

Compte tenu de la taille du modèle, il est évidemment impossible de décrire en quelques pages l'ensemble des équations qui composent MEDEE-3 Québec. Nous essaierons cependant de faire comprendre l'essentiel de

---

(1) Modèle d'évaluation de la demande d'énergie.

(2) La méthode MEDEE a été conçue et mise au point à l'Institut Economique et Juridique de l'Energie (I.E.J.E.) de l'Université de Grenoble, sous le patronage des Communautés Européennes. Les modèles élaborés dans le cadre de cette méthode (MEDEE-2 et MEDEE-3S) sont actuellement utilisés dans les pays de l'Europe des dix, au Portugal, en Espagne, ainsi que dans plusieurs pays du tiers monde (Amérique Latine et Asie).

* Chargé de projet de l'Institut national de la recherche scientifique (I.N.R.S.) - Energie.

** Assistant de recherche de l'Institut national de la recherche scientifique (I.N.R.S.) - Energie.

la méthode en présentant d'abord le degré de désagrégation choisi, ensuite quelques équations types par secteur, et finalement, les grands déterminants qui jouent sur l'évolution de la demande d'énergie dans ces secteurs.

La théorie pourra être analysée plus en détail dans des documents spécifiques (1).

---

(1) Voir notamment, G. Lafrance, J.P. Surprenant, Le système industriel, I.N.R.S.-Energie, NRG-215.

INTRODUCTION

Historiquement, l'ensemble des agents et des activités sociales et économiques non inclus dans les activités industrielles et de transport ont été analysés dans les secteurs de consommation résidentielle et commerciale. Au Canada, les usages agricoles sont également analysés à ce niveau. Dans le modèle MEDEE-Québec, compte tenu que les mécanismes de formation de la demande d'énergie sont assez semblables dans ces deux secteurs, plusieurs modules sont communs et il est plus correct de les analyser ensemble.

Dans le modèle québécois, les définitions de ces deux secteurs diffèrent quelque peu de celles retenues dans les statistiques énergétiques présentées par Statistique Canada. Le secteur résidentiel regroupe la totalité des logements, le secteur commercial comprend tout le tertiaire. Les consommations de carburants sont analysées dans le secteur des transports, sauf les usages diesels.

1. Le secteur résidentiel

C'est dans le secteur résidentiel que les grands principes de modélisation utilisés dans les modèles technico-économiques s'appliquent le mieux. Le premier principe consiste à élaborer le modèle de simulation de la demande d'énergie à partir d'une analyse très fine des mécanismes qui engendrent l'évolution de la demande d'énergie. Plus spécifiquement, dans le secteur résidentiel, cette analyse désagrégée se fera dans l'étude:

- de l'évolution du parc de logements
- des usages énergétiques associés:
  - chauffage des locaux
  - chauffage de l'eau
  - cuisson
  - électricité spécifique (12 types d'équipements).

Un usage "autres" a été créé afin de tenir compte des usages agricoles et des besoins d'énergie des maisons secondaires.

Le deuxième principe de modélisation suggère deux niveaux de détermination de la demande d'énergie: l'énergie utile et l'énergie finale. Pour décrire la formation de la demande d'énergie finale, des mécanismes sont établis pour prendre en compte:

- les économies d'énergie
- la substitution interénergétique
- la pénétration des nouvelles technologies.

En bref, l'équation générale utilisée pour compiler la demande d'énergie des logements (Stock) de type i et d'âge j sera la suivante:

$$\text{Stock } ij = \sum_f \sum_u C_{uijf} * USA_{uijf}$$

où USA_{uijf} = nombre de logements de type i et d'âge j utilisant un usage u installé avec un combustible f

C_{uijf} = consommation spécifique de USA_{uijf}

Dans cette équation, USA reflète les besoins sociaux (ex. besoins d'équipements ménagers) et est fortement relié au contexte socio-économique. C_{uijf} est plutôt dépendant de l'évolution technologique et des politiques énergétiques.

1.1 Le parc de logements

En pratique, ce degré de désagrégation n'est pas utilisé pour tous les usages, comme nous le verrons plus loin. Cette désagrégation est maximale dans le cas du chauffage des locaux. Ainsi, dans ce cas précis, le modèle se distingue par une ventillation détaillée du parc de logements en modules homogènes.

En premier lieu, l'homogénéité se réfère aux types de logements. Les quatres types suivants sont retenus:

- les maisons individuelles
- les maisons en rangée
- les duplex et les petits immeubles à appartements
- les grands immeubles à appartements.

En deuxième lieu, l'homogénéité implique une classe d'âges. Deux évolutions sont alors simulées, le stock ancien et le stock neuf. Dans le stock ancien, une classe d'âge doit d'abord être introduite afin de tenir compte correctement des normes d'isolation et de la dimension des logements. Les classes d'âge suivantes sont proposées:

- les logements construits avant 1961
- les logements construits de 1961 à 1971
- les logements construits de 1971 à 1981.

Le taux de démolition est appliqué sur la classe de logements construits avant 1961.

Dans le stock neuf, la simulation est faite par période de cinq ans.

En troisième lieu, l'homogénéité reproduit des catégories d'équipement de chauffage (8 types d'équipements). Ces catégories seront explicitées dans le chapitre sur le chauffage.

En dernier lieu, ces classes de logements sont ventilées par classes de décideurs afin de tenir compte du contexte socio-économique, et par région pour tenir compte des disponibilités d'énergie et des conditions climatiques.

La façon d'analyser le secteur résidentiel ne diverge pas tellement des autres modèles technico-économiques construits depuis quelques années. La classification par type de logement et par usage est classique, du moins en Amérique. La classification par type de décideur est moins fréquente et en ce sens, MEDEE-3 a innové. L'étude des disponibilités par région est à notre avis spécifique au modèle du Québec.

La figure 1 résume comment le modèle MEDEE-3 Québec explique la demande d'énergie du secteur résidentiel.

1.2 La demande d'énergie utile par usage

L'usage qui va conditionner le plus l'évolution de la demande d'énergie dans ce secteur est, bien sûr, le chauffage. Il n'est donc pas étonnant de voir dans le modèle une analyse très désagrégée de cet usage.

Les besoins d'énergie utile de chauffage sont calculés en deux temps. Pour ne pas surcharger le modèle informatique principal, un modèle secondaire (MAISON) calcule un besoin d'énergie utile théorique correspondant à une situation de référence, ce besoin étant indépendant de la forme d'énergie utilisée et des ménages.

Un modèle technique basé sur la méthode des degrés-jours équivalents(1) calcule un coefficient de déperdition thermique moyen par type de logements (maisons, duplex, appartements, maisons en rangée). Ce coefficient est fonction de la période où le logement a été construit, c'est-à-dire de son âge j. Le calcul se fait sur une base mensuelle.

Les conditions climatiques, la dimension du bâtiment, le degré d'isolation des différentes composantes (mur, fenêtre, porte, plafond, cave et toit) déterminent les pertes par conduction. Les pertes par infiltration sont déterminées à partir d'un taux de changement d'air par heure. Par ailleurs, les gains dus aux appareils électroménagers et les gains solaires sont soustraits pour déterminer les pertes totales. Les économies d'énergie sont évidemment applicables par composantes et sont agrégées en une fonction tabulaire des prix de l'énergie et des politiques énergétiques.

Le passage des besoins d'énergie théoriques aux besoins réels se fait en tenant compte d'abord du comportement des occupants (température réelle de chauffage par rapport à la température théorique) et ensuite, pour un âge j, du rendement thermique réel d'une habitation en référence au logement tout électrique.

Dans le cas des autres usages, le calcul du besoin d'énergie utile est beaucoup plus simple. Pour l'eau chaude, une consommation annuelle par personne est calculée en fonction de la pénétration d'équipements utilisant l'eau chaude. Pour les autres usages, il s'agit d'une consommation par ménage.

---

(1) Rogers and all., Residential and Commercial Energy Demand, Ministère de l'énergie de l'Ontario, janvier 1978.

PARTITION ET ORGANISATION DU SECTEUR RÉSIDENTIEL

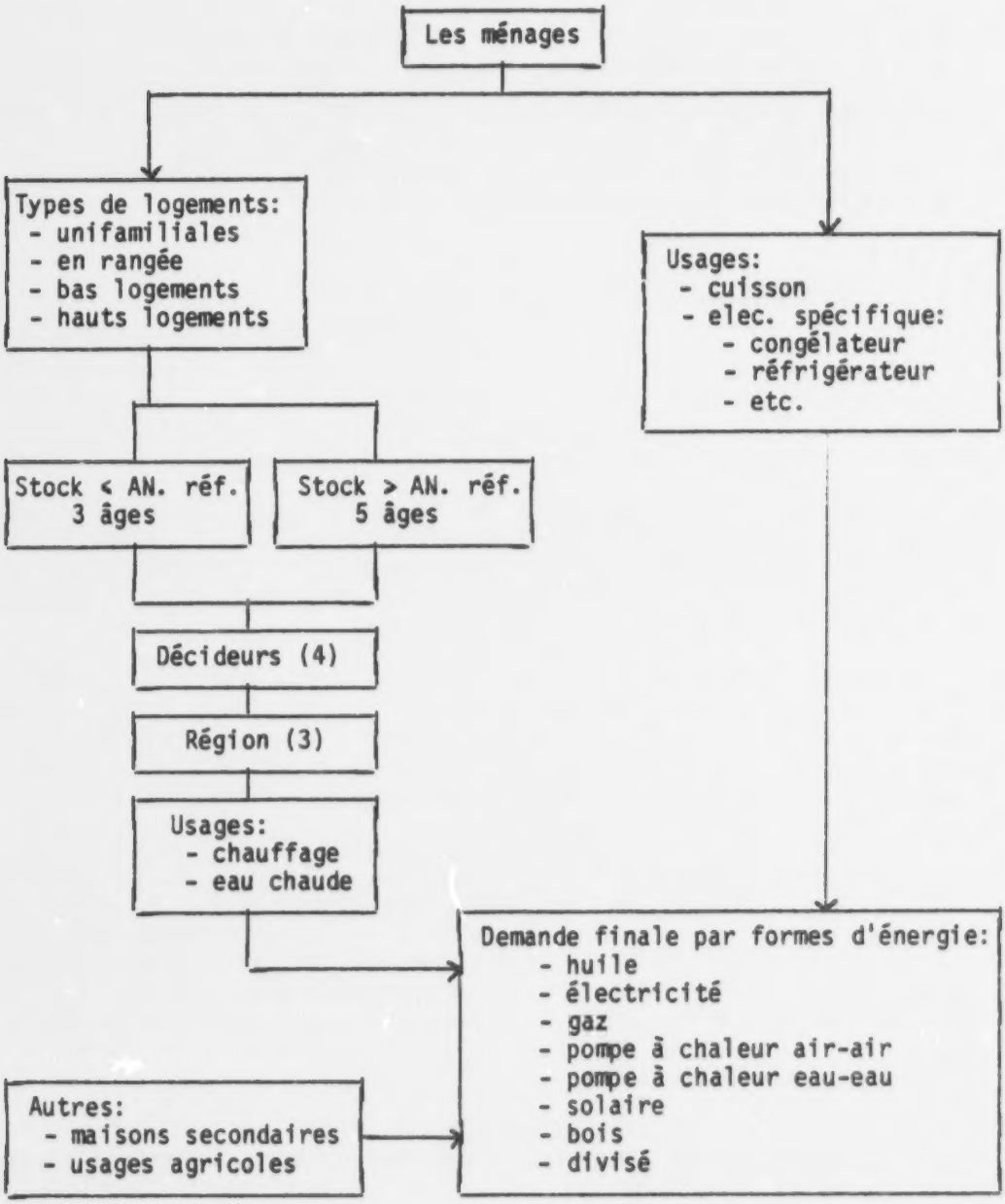


Figure .1

NOTE: Les chiffres entre parenthèses représentent le degré de désagrégation retenu.

1.3 La demande d'énergie finale

Le passage de l'énergie utile à l'énergie finale s'obtient en tenant compte de la structure et du rendement des technologies d'usage. Pour chaque besoin d'énergie utile, le consommateur a le choix de retenir la forme d'énergie finale qui lui convient. L'optimisation du choix d'un consommateur placé devant un problème de substitution interénergétique se fait en considérant le minimum d'une fonction construite à partir du coût global actualisé CGA défini par:

$$CGA = I - S + \sum_{t}^{T} (c_1 \, Q_e \, P_{e,t} + \sum_{i} c_i \, L_i) \, (1 + r)^{-t}$$

où Q_e est la consommation d'énergie associée à l'équipement considéré, $P_{e,t}$ est le prix de l'énergie au temps t, L_i est l'ensemble des autres coûts d'entretien, (quantités i) etc., I est le coût d'investissement, S est le montant de subvention, r est le taux d'actualisation, T est la durée de vie de l'équipement perçue par le consommateur, et c_1, c_i sont des pondérations.

Ce coût global est transformé afin de tenir compte d'un facteur d'inconfort (x) et d'un éventuel facteur extra-économique (y) qui joue en faveur d'un combustible. Parmi les différents équipements disponibles, le choix du consommateur est représenté par celui qui rend minimale l'expression

$$CGA \, (1 + x) \, (1 - y)$$

qui est calculée pour chaque équipement en fonction des caractéristiques qui lui sont propres.

Il apparaît que les coefficients de pondération c_1 et c_i, le facteur d'inconfort x et le facteur extra-économique y, sont des paramètres à la disposition du modélisateur pour représenter le comportement des usagers. On a ainsi à définir une répartition de ces paramètres dans la population d'usagers concernée, et à cette fin, on utilise les classes de décideurs.

La sélection des installations conduit ensuite à une affectation qui se fait selon la disponibilité géographique. A ce niveau, une vitesse d'adaptation dépendante du coût est introduite pour tenir compte des contraintes du marché.

Pour les énergies nouvelles, une relation plus complexe représente la pénétration de systèmes mixtes. Dans ces deux types de relations, une modification du prix de l'énergie agit directement sur la sélection des installations et donc sur la demande d'énergie finale.

Dans le modèle de simulation, deux évolutions sont étudiées, celle du stock ancien et celle du stock nouveau. Les mêmes relations de choix sont utilisées, mais les contraintes peuvent être différentes.

Dans les deux cas, les choix ne sont pas libres en tout temps, c'est-à-dire qu'un système de chauffage choisi pendant une première période de simulation ne peut être modifié à une période ultérieure.

Dans le stock neuf, tous les combustibles entrent en concurrence sur un pied d'égalité. En ce qui concerne le vieux stock, le stock initial de chauffage électrique et au gaz ne peut être modifié que par le taux de démolition. La substitution interénergétique se fait de l'huile vers les autres formes d'énergie. Les auteurs du modèle sont conscients d'introduire une erreur (marginale) à ce niveau puisque historiquement d'autres types de substitutions, notamment gaz-électricité, ont eu lieu.

La courbe potentielle de décroissance des équipements à l'huile est spécifiée, soit d'une façon exogène, soit d'une façon économétrique dont l'équation est de la forme suivante:

$$CONV_t = a+b * (PEL_t/PLEG_t - PEL_{t-1}/PLEG_{t-1}) + c * CONV_{t-1} + d * t$$

où $CONV_t$ = nombre de conversions potentielles au temps t
PEL_t = prix moyen de l'électricité au temps t
$PLEG_t$ = prix du mazout léger au temps t

Dans le choix des formes d'énergie, le modèle suit l'algorithme suivant:

- les politiques de court terme sont appliquées, ce qui veut dire dans les faits que le stock de logements avec chauffage (huile-électricité) divisé est prédéterminé;
- le modèle de choix détermine ensuite les parts de marché des énergies traditionnelles (huile, gaz et électricité) comme si aucune autre forme d'énergie n'était en compétition;
- le modèle des énergies nouvelles fixe pour terminer les parts des nouvelles techniques (bois, pompe à chaleur, solaire) en fonction des coûts actualisés imputables aux systèmes conventionnels. Dans les faits, une fraction du marché est retranchée aux énergies traditionnelles.

Les politiques énergétiques s'expriment en termes de subventions, de prix de l'énergie et de disponibilités d'énergie. Le calcul des parts de marché des chauffe-eau à l'électricité, au gaz et au mazout se fait d'une façon endogène en fonction des équipements de chauffage choisis. La part des chauffe-eau solaire est déterminée par un modèle semblable au modèle de choix utilisé dans le module chauffage des locaux.

La figure 2 schématise cet algorithme. Les classes de décideurs sont présentées dans le tableau 1.

2. Le secteur tertiaire

Le secteur tertiaire, mieux connu sous le nom de secteur commercial et des services, est le secteur qui regroupe le plus grand nombre d'édifices différents par leur vocation et leur type de construction. Il est aussi un des plus mal connus au niveau statistique. Ceci tient probablement à la grande diversité qu'on y trouve et à son peu d'im-

TABLEAU 1

Les décideurs pris en compte dans le modèle de choix

Résidentiel

Maison + duplex

classe 1: limite
classe 2: moyenne
classe 3: riche
Classe 4: promoteur

Appartements

Promoteur 1: paie l'énergie des appartements
Promoteur 2: le locataire paie l'énergie
Promoteur 3: le locataire a un pouvoir de décision

Commercial

Pour chaque type d'édifices, on distingue

- les promoteurs privés qui louent des locaux
- les promoteurs privés qui utilisent les locaux
- les promoteurs publics

DÉTERMINANTS DANS LE CHOIX DES ÉQUIPEMENTS DE CHAUFFAGE

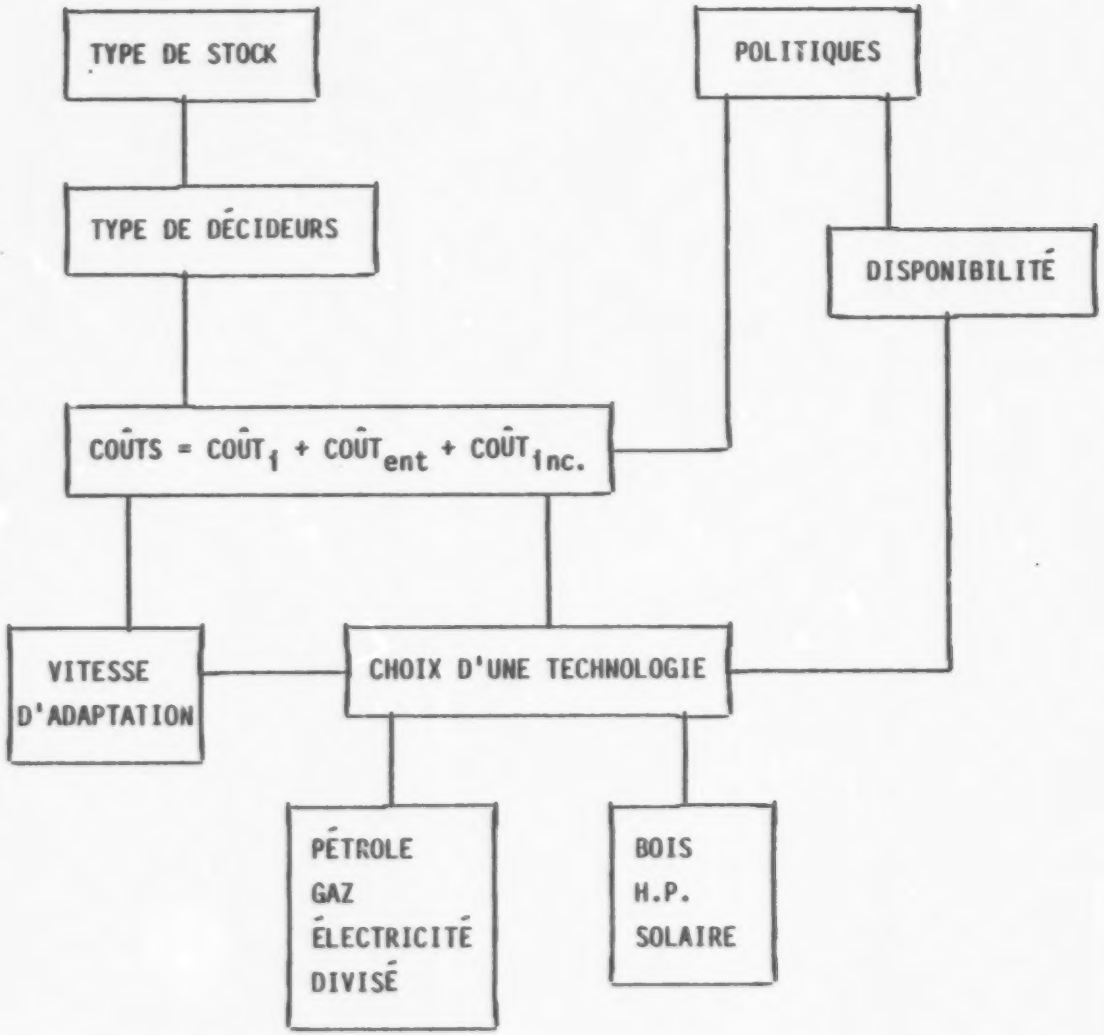


Figure 2

portance par rapport aux autres secteurs, quant à la consommation d'énergie.

Dans MEDEE-Québec, les deux grands principes de modélisation, soit l'analyse par usage d'une façon désagrégée et la détermination de la demande d'énergie en terme d'énergie utile et finale, ont été retenus. Même si en réalité les données ne sont pas toujours fiables, le modèle n'en est pas moins original et plus "performant" qu'un modèle économétrique traditionnel, où souvent quelques variables explicatives (emploi, PIB, prix) décrivent l'évolution totale de la consommation d'énergie .

Plus spécifiquement, comme dans le résidentiel, l'analyse désagrégée se fait dans l'étude:

- de l'évolution du stock d'édifices (en mètres carrés)
- de l'évolution des usages énergétiques associés:
  - chauffage
  - eau chaude
  - éclairage
  - climatisation
  - électricité spécifique
  - carburants (diesel)

De façon générale, l'équation caractéristique pour exprimer la demande d'énergie d'un édifice de type i et d'âge j est la suivante:

$$DEDI_{i,j} = \sum_{u} EDI_{i,j} * CUSA_{u,i,j}$$

où $EDI_{i,j}$ = surface en m² de l'édifice de type i et d'âge j

$CUSA_{u,i,j}$ = consommation spécifique par m² de l'usage u

Dans notre modèle, EDI est en général calculé d'une façon économétrique à partir de variables démographiques et économiques. Au travers de CUSA, on prend en compte l'avance technologique, la substitution interénergétique et les économies d'énergie.

2.1 Evolution du stock d'édifices

Comme dans le résidentiel, deux évolutions du parc d'édifices sont étudiées, soit l'ancien stock et le nouveau stock. Une quinzaine de types d'édifices sont analysés.

Il faut noter que la classe multi-logements, habituellement facturée dans ce secteur, est analysée dans le secteur résidentiel. Une classe de demandes "non-classifiées" a été introduite pour tenir compte des types d'édifices non considérés.

Pour l'ancien stock, l'espace de plancher n'est altéré que par le taux de démolition. Pour le nouveau stock, l'évolution de la surface de plancher de chaque type d'édifices est calculée d'une façon endogène. Des relations linéaires sont établies en fonction de différentes

variables socio-économiques. Les variables explicatives sont pour l'instant des variables de scénario ou des fonctions tabulaires de la croissance économique, mais pourraient devenir des fonctions tabulaires des différentes politiques gouvernementales (éducation, santé, aménagement, etc.).

Suite à différentes études statistiques, les variables explicatives suivantes ont été retenues pour chacun des types d'édifices:

bureau	:	nombre d'employés dans les services (services, administration publique et finances)
magasin	:	nombre de ménages et revenu personnel disponible
hôtellerie	:	nombre de ménages et revenu personnel disponible
santé	:	population, âge moyen des habitants
éducation	:	ménages, clientèle d'étudiants
entrepôt	:	espace de plancher des magasins
divers 1	:	ménages, revenu personnel disponible.

L'évolution des demandes "non-classifiées" est dépendante de la croissance économique des autres secteurs.

2.2 La demande d'énergie finale par usage

Pour chaque type d'édifices et pour chaque classe d'âges, six usages énergétiques sont analysés. La substitution interénergétique n'est permise que pour les deux premiers usages: chauffage des locaux et de l'eau. Les trois usages suivants (climatisation, éclairage et autres) correspondent à des besoins d'électricité spécifique. Le dernier usage correspond au besoin de carburants. Chaque donnée est exprimée en énergie/m^2.

La figure 3 schématise la structure du secteur tertiaire telle que conçue actuellement dans le modèle.

Comme dans le résidentiel, le passage à l'énergie finale s'obtient en tenant compte de la structure des technologies d'usages et des rendements des systèmes de chauffage. Deux types de marché sont analysés:

- le marché du mazout léger
- le marché du mazout lourd.

Pour déterminer la substitution de mazout léger vers une autre forme d'énergie, ou pour déterminer les parts d'énergie dans le stock neuf, un modèle de choix semblable à celui du résidentiel est utilisé. Les quelques différences suivantes existent entre les deux modèles:

- deux sources d'énergie supplémentaires sont incorporées au modèle tertiaire: le chauffage urbain et le chauffage au mazout lourd;

- les types de décideurs sont différents (voir tableau 1). En ce qui concerne le marché du mazout lourd dans le vieux stock, les

PARTITION ET ORGANISATION DU SECTEUR TERTIAIRE

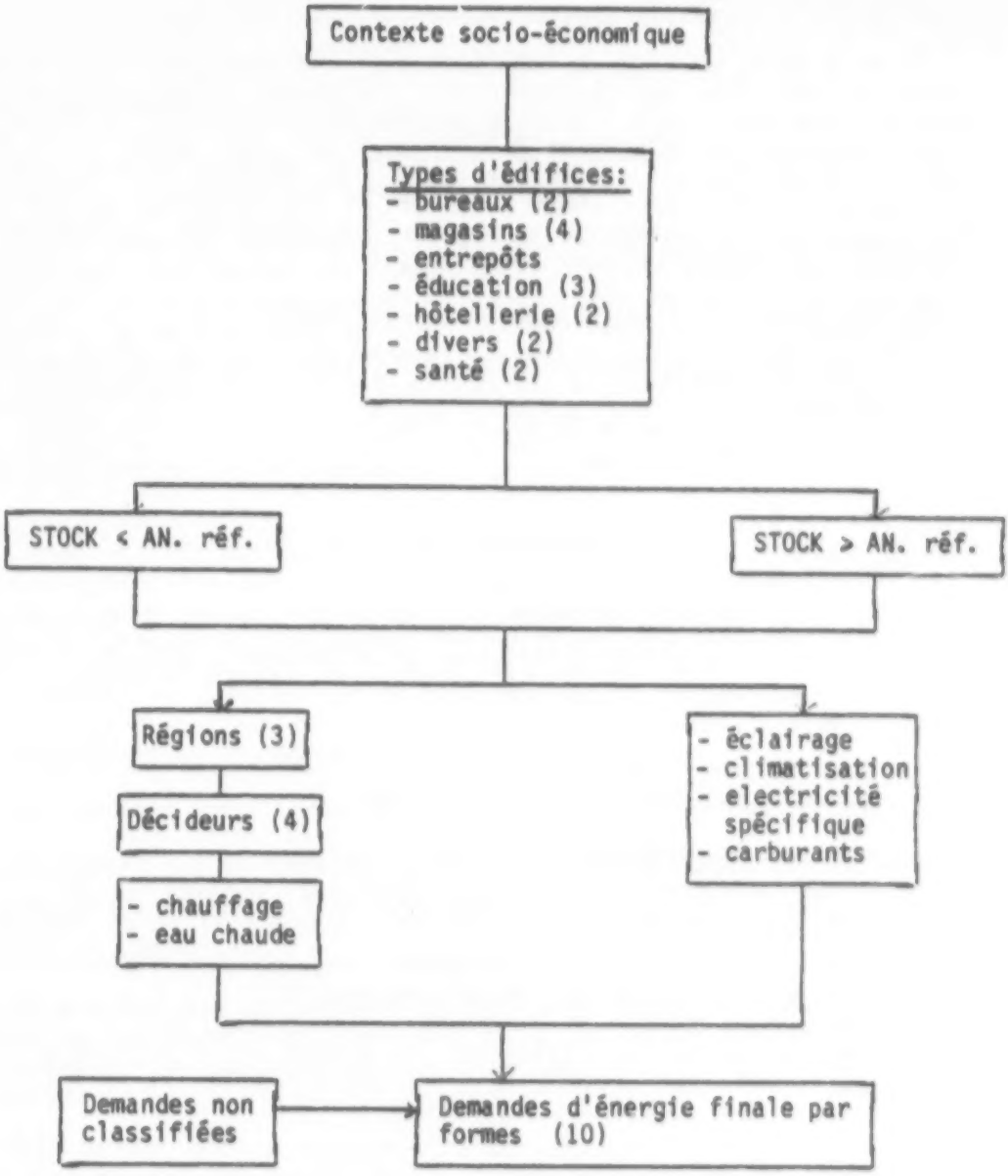


Figure 3

NOTE: Les chiffres entre parenthèses représentent le degré de désagrégation retenu.

parts par forme d'énergie sont des fonctions tabulaires des prix et des disponibilités de l'énergie.

3. Les grands déterminants

Comme premier principe de modélisation, la méthode choisie mise sur l'analyse très fine des facteurs qui influencent l'évolution de la demande d'énergie. Dans l'analyse systémique d'un secteur, ceci consiste à établir les principaux déterminants socio-économiques, politiques, techniques ou autres dans le cadre d'un scénario général établi précédemment. Plus précisément, les principaux déterminants choisis qui influencent directement la demande d'énergie dans les secteurs résidentiel et commercial sont les suivants:

a) La démographie, où les tendances lourdes sont:

- l'accroissement moins rapide de la population et du nombre de ménages;
- le vieillissement de la population;
- l'urbanisation accrue.

b) Le contexte socio-économique, où les principales variables utilisées sont:

- l'emploi dans les services (évolution des édifices à bureaux);
- le revenu personnel disponible (principalement dans le tertiaire) et le revenu par ménage propriétaire (modèle de choix).

c) Le mode de vie (combiné au contexte économique et politique) se fera sentir dans les variables suivantes:

- taux de propriété des bâtiments;
- surface habitée;
- évolution du stock par type (ex: unifamiliale par rapport à appartement);
- taux de pénétration des équipements consommateurs d'électricité;
- taux de pénétration des maisons secondaires;
- température moyenne de chauffage;
- dans le tertiaire, différentes politiques sociales doivent être spécifiées, par exemple le choix entre hôpital et unités plus petites pour donner les services de santé.

d) Le contexte énergétique est considéré à trois niveaux:

- les économies d'énergie:
  - dans le stock ancien, on considère les programmes gouvernementaux de type suivant: Energain, Energiebus
  - dans le stock neuf, on considère les nouvelles normes de construction

- la substitution interénergétique, les principales politiques considérées étant:
  - les politiques de prix de l'énergie
  - les politiques de subvention à la conversion (privées et publiques)
  - les politiques d'offre (disponibilité par région des formes d'énergie)

- le contexte technique:
  - l'évolution des rendements
  - la date de maturité de nouveaux équipements (ex: chauffe-eau solaire)

Compte tenu de la structure très désagrégée choisie pour décrire les secteurs résidentiel et commercial, il est bien sûr possible de considérer un nombre beaucoup plus grand de politiques et de déterminants dans le modèle, soit de façon directe (variables exogènes), soit de façon indirecte dans les modèles d'appoint qui calculent les variables de scénario.

La sensibilité de ces déterminants

L'implantation des modèles résidentiel et agricole a abouti à une première série de résultats et de tests. Sans avoir testé la sensibilité de l'ensemble des variables, ces premiers résultats conduisent à plusieurs conclusions pertinentes sur la nature des tendances actuelles dans ces secteurs et sur la capacité de l'outil mis en place à simuler correctement les principales liaisons expliquant la demande d'énergie. Nous croyons qu'une analyse, même sommaire, de ces résultats peut aider à la compréhension du modèle.

Ces premiers essais gravitent autour de deux scénarios principaux:

- Le premier est un scénario de forte croissance économique (2,9% par an sur la période 1981-2006) couplé à une croissance du prix du mazout léger (résidentiel) relativement forte (6,7% par an sur la période 1981-2006).

- Le deuxième est un scénario de faible croissance économique (0,9% par an sur la période 1981-2006) où la croissance du prix du mazout léger est un peu plus faible (6,3% par an sur la période 1981-2006).

Pour ce qui est du secteur résidentiel, dans la simulation A, le prix de l'électricité serait égal à 90% du prix de l'huile légère pour la période 1983-1990, et à 95% pour la période 1991-2006. Le prix du gaz resterait à environ 70% du prix de l'huile légère. Dans la simulation B, une hypothèse identique a été retenue, le mazout léger disparaissant complètement, à l'horizon 2006, en faveur de l'électricité (on a ici considéré qu'en dessous d'un certain volume, le coût élevé de la distribution entraînerait la disparition du mazout léger).

Les premiers enseignements suivants peuvent être tirés (1):

- Il apparaît que la demande d'énergie finale dans le secteur résidentiel, contrairement à celle du tertiaire, est relativement inélastique aux variations de la croissance économique (≃ 0% dans le scénario 1 et - 0,5% dans le scénario 2). Ceci s'explique en partie par une évolution démographique moins contrastée. Dans le tertiaire, les variations économiques semblent avoir une influence déterminante même si la variable démographique demeure importante (1,2% par an de 1981-1986 dans le scénario 1 et - 0,2% par an dans le scénario 2).

- En termes d'énergie finale, on assiste à une stabilisation de la demande dans le secteur résidentiel et à un ralentissement très prononcé du taux de croissance de cette demande dans le tertiaire (historiquement ce taux était de 6,6% sur 1961-1981).

- Comme dans le passé, la demande d'énergie de ces secteurs est principalement conditionnée par la demande de chauffage. En termes d'énergie finale, cette part du chauffage diminue cependant, et passe de 67,6% en 1981 à environ 58% en 2006 (secteur résidentiel). La consommation unitaire de chauffage continue de baisser dans le futur. Cette baisse ne découle pas tant des économies d'énergie dans le vieux stock, que de la construction de nouveaux bâtiments plus efficaces énergétiquement. En ce sens là, il s'avère qu'il est plus difficile qu'on ne le croyait de faire des économies d'énergie importantes (en termes de bilan total) dans le vieux stock. Dans le secteur résidentiel, les économies probables se situent entre 5 et 10% selon les scénarios. Ces économies peuvent cependant être plus importantes dans le secteur tertiaire. Par contre, les économies d'énergie dans le stock neuf sont impressionnantes. La consommation d'un logement construit après 2000 sera de plus de 40% plus faible que celle d'un logement actuel. La situation est semblable dans le tertiaire.

- En ce qui concerne les autres usages ménagers, la consommation d'énergie par ménage n'augmente plus. La diffusion de certains gros appareils électroménagers est compensée par des économies d'énergie et une baisse du nombre de personnes par ménage.

- En ce qui concerne le choix des énergies finales dans le résidentiel, l'évolution semble avantager fortement l'électricité. Dans un contexte où le prix de l'huile est plus élevé, la forte croissance de la consommation électrique des dernières années se poursuit à moyen terme. Une saturation apparaît dans les années 90 pour atteindre un scénario électrique presque optimum en fin de période.

---

(1) Les principaux résultats sont présentés en annexe.

Même en privilégiant fortement le gaz (prix plus bas, subvention à la conversion, disponibilité accrue), la part du gaz se situe en bas de 20% en 2006. La part électrique pourrait dépasser 80% dans un scénario très "électrique" et ne sera pas inférieure à 70%.

- Les nouvelles technologies (solaire, pompe à chaleur, bois) pénètrent dans un scénario de croissance forte. Les nouveaux types d'équipements de chauffage pourraient représenter 10% en 2006.

- Dans le secteur tertiaire, l'évolution du marché du mazout léger ressemble à celui du résidentiel. L'électricité peut y pénétrer d'une façon importante et les nouvelles technologies aussi. En ce qui concerne le marché du mazout lourd, l'avantage de l'électricité est moins clair. D'une façon générale, le gaz peut faire des percées intéressantes en fonction des politiques établies (prix, subvention à la conversion et disponibilité). Pour que l'électricité pénètre fortement, les politiques doivent être beaucoup plus agressives que dans le résidentiel. Malgré tout, compte tenu de la pénétration de l'électricité dans le stock neuf, la part de l'électricité ne devrait pas se situer en bas de 60% en 2000 dans le bilan de ce secteur.

- Enfin, selon les résultats des scénarios retenus, la dépense énergétique par habitant n'augmente plus et devrait même baisser dans un scénario de forte croissance.

CONCLUSION

Cette analyse, même sommaire, des résultats de notre modèle dégage quelques tendances lourdes de notre situation énergétique. Nous n'avons pas fait le tour de la question dans ces quelques lignes, mais il apparaît que le modèle est suffisamment souple pour prendre en compte correctement les principaux déterminants qui peuvent influencer la demande d'énergie dans les secteurs résidentiel et commercial. Au vu des résultats obtenus, on peut considérer que plusieurs objectifs initiaux ont été atteints et que ce modèle est un guide valable pour l'analyse et l'exploration de notre futur énergétique. Il faut cependant être conscient que la validité des résultats n'est pas seulement fonction de la qualité du modèle mais également de la qualité de l'information initiale, ce qui est bien sûr dépendant de la qualité des informations statistiques existantes et des scénarios établis. En ce sens là, plusieurs améliorations restent à apporter.

*
* *

ANNEXE

Les tableaux A-2, A-3, A-4 et A-5 présentent la répartition possible de la demande énergétique dans les secteurs résidentiel et commercial selon les cinq filières énergétiques (pétrole léger et lourd, gaz naturel, électricité et énergies nouvelles).

Les résultats présentés ne doivent être interprétés qu'en fonction des scénarios et simulations construits au préalable. Certaines hypothèses de l'évolution de quelques variables utilisées apparaissent dans le tableau A-1.

TABLEAU A-1

Variables économiques

		1981	1996	2006	Taux de croissance annuel moyen (en %) 1981-2006
Population (en milliers)	S1	6 339	7 144	7 736	0,8
	S2	6 339	6 532	6 664	0,2
Ménages (en milliers)	S1	2 170	2 720	2 970	1,3
	S2	2 170	2 374	2 520	0,6
Revenu personnel disponible (en millions de dollars de 1971)	S1	22 447	34 215	45 317	2,8
	S2	22 447	22 447	22 447	0,0
Consommation de biens (en millions de dollars de 1971)	S1	12 296	19 722	27 024	3,2
	S2	12 296	12 296	12 296	0,0

TABLEAU A-2

Demande d'énergie par forme: Scénario 1 (Résidentiel)

(en pétajoules)

		1996		2001		2006	
	1981	A	B	A	B	A	B
Electricité	123	197	226	204	235	208	238
Pétrole	140	15	10	7	0	4	0
Gaz	23	49	23	51	23	54	24
Autres (1)	19	31	23	33	28	33	28
Total	305	298	282	295	286	299	290

1. Comprend le bois et le diesel, les autres formes d'énergies nouvelles (solaire, pompe à chaleur, etc.) étant considérées comme des économies d'énergie.

TABLEAU A-3

Demande d'énergie par forme: Scénario 2 (Résidentiel)

(en pétajoules)

		1996		2001		2006	
	1981	A	B	A	B	A	B
Electricité	123	190	202	196	211	199	211
Pétrole	140	24	10	15	0	10	0
Gaz	23	30	23	30	23	30	23
Autres[1]	19	25	25	26	26	27	26
Total	305	269	260	267	260	266	260

1. Comprend le bois et le diesel, les autres formes d'énergies nouvelles (solaire, pompe à chaleur, etc.) étant considérées comme des économies d'énergie.

TABLEAU A-4

Demande d'énergie par forme: Scénario 1 (Commercial)

(en pétajoules)

		1996		2001		2006	
	1981	A	B	A	B	A	B
Electricité	70	114	133	125	147	137	164
Pétrole léger	41	10	3	8	0	8	0
Pétrole lourd	30	12	12	11	11	10	10
Gaz	19	49	30	51	29	54	24
Autres (1)	4	5	5	5	5	6	6
Total	164	190	183	201	192	215	204

1. Comprend le diesel, les autres formes d'énergies nouvelles (solaire, pompe à chaleur, etc.) étant considérées comme des économies d'énergie.

TABLEAU A-5

Demande d'énergie par forme: Scénario 2 (Commercial)

(en pétajoules)

		1996		2001		2006	
	1981	A	B	A	B	A	B
Electricité	70	90	95	93	97	96	103
Pétrole léger	41	10	3	8	0	7	0
Pétrole lourd	30	14	14	13	13	12	12
Gaz	19	33	33	31	31	30	27
Autres (1)	4	4	4	5	5	5	5
Total	164	151	149	150	146	149	145

1. Comprend le bois et le diesel, les autres formes d'énergies nouvelles (solaire, pompe à chaleur, etc.) étant considérées comme des économies d'énergie.

LE SECTEUR INDUSTRIEL DANS MEDEE-3 QUÉBEC

par Gaétan Lafrance* et Jean-Pierre Surprenant**

Résumé: La construction du modèle industriel de MEDEE-3 (1) Québec a été effectuée en respectant deux buts principaux: construire un instrument d'aide à l'élaboration de politiques énergétiques et fournir une banque de données techniques sur les consommations d'énergie dans ce secteur. La poursuite de ces objectifs n'a été possible qu'en faisant une analyse très désagrégée des procédés industriels et de leurs usages associés. En ce sens là, le modèle se démarque significativement des modèles existants en analysant plus d'une cinquantaine de secteurs industriels.

Afin de faire comprendre l'essentiel de la méthode (2), le degré de désagrégation choisi, quelques équations types et les principaux déterminants qui jouent sur l'évolution de la demande d'énergie de ce secteur sont présentés.

La théorie pourra être analysée plus en détail dans des documents spécifiques (3).

1. Le secteur industriel

Pour identifier correctement les potentiels d'économies d'énergie et les mécanismes de substitution ou expliquer avec plus d'autorité la

---

(1) Modèle d'évaluation de la demande d'énergie.

(2) La méthode MEDEE a été conçue et mise au point à l'Institut Economique et Juridique de l'Energie (I.E.J.E.) de l'Université de Grenoble, sous le patronage des Communautés Européennes. Les modèles élaborés dans le cadre de cette méthode (MEDEE-2 et MEDEE-3S) sont actuellement utilisés dans les pays de l'Europe des dix, au Portugal, en Espagne, ainsi que dans plusieurs pays du tiers monde (Amérique Latine et Asie).

(3) Voir notamment, G. Lafrance, J.P. Surprenant, Le système industriel, I.N.R.S.-Energie, NRG-215.

* Chargé de projet de l'Institut national de la recherche scientifique (I.N.R.S.) - Energie.

** Assistant de recherche de l'Institut national de la recherche scientifique (I.N.R.S.) - Energie.

consommation d'énergie totale en fonction des déterminants économiques, sociaux ou politiques, il est nécessaire de connaître les consommations spécifiques avec précision. Dans l'industrie, ceci suppose l'adoption d'une méthode d'analyse axée sur les procédés.

Cette méthodologie implique une désagrégation des secteurs industriels qui peut même être poussée jusqu'au niveau des usines membres du secteur. L'analyse d'une centaine d'usines québécoises peut permettre d'expliquer l'évolution d'environ 70% de la consommation énergétique du secteur industriel.

La philosophie générale retenue pour expliquer l'évolution de la demande d'énergie se fonde sur la relation suivante:

$$D_y = \sum_z CSP_{y,z} * CAP_z * Uti_z$$

où D_y = demande d'énergie pour un secteur y
$CSP_{y,z}$ = consommation d'énergie pour produire une unité d'un produit y avec un procédé z
CAP_z = capacité installée par type de procédé z
Uti_z = taux d'utilisation du procédé z

Au travers de la variable CSP, on peut prendre en compte les économies d'énergie, les substitutions interénergétiques, l'avancement technologique, etc. Les variables CAP et Uti reflètent plutôt la cadence de l'activité économique. (Notons que la variable CAP est aussi dépendante de l'avancement technologique.)

En reprenant la proposition méthodologique des auteurs de MEDEE, la composition du système industriel nécessite d'abord qu'on identifie les secteurs ou les branches industriels pour lesquels on peut admettre une homogénéité dans les mécanismes de formation de la demande d'énergie. Cette homogénéité, appliquée dans le secteur industriel, revêt les caractéristiques suivantes:

- en premier lieu, l'homogénéité doit se référer au même comportement des agents économiques dans un même secteur;
- en deuxième lieu, l'homogénéité reflète le contexte technologique dans lequel évoluent les secteurs et les branches industriels;
- en troisième lieu, l'homogénéité implique des conditions environnementales ou un contexte physique identique dans lequel s'insère le développement du secteur industriel en question.

L'homogénéité des comportements peut être identifiée dans les cas concrets. C'est ainsi que le comportement des agents économiques est susceptible d'être différent selon qu'ils interviennent dans un secteur à haute intensité énergétique ou à faible intensité énergétique.

L'attitude des industriels de ces deux secteurs va être fonction de l'importance des dépenses d'énergie dans leurs coûts de production.

Cette part est très significative dans le secteur des industries lourdes. Dans les industries légères, le poids de l'énergie dans les coûts de production peut être insignifiant. On a ainsi fait apparaître un groupe d'industries qu'on appelera IGCE (industries grosses consommatrices d'énergie), possédant les caractéristiques suivantes:

- poids important des coûts de l'énergie dans les coûts de production;
- poids élevé des consommations d'énergie dans la consommation totale du système industriel.

Une cinquantaine de procédés sont analysés. L'analyse systémique se fait par produits homogènes (acier, ciment). La production est exprimée en unités physiques; au niveau du modèle, ces industries sont regroupées en 4 groupes qui correspondent à la classification de Statistique Canada (groupes 10, 12, 17 et 19 du secteur manufacturier).

Le groupe "Industries légères" concerne les autres industries du groupe manufacturier. La désagrégation choisie dépend de la connaissance et de l'importance des sous-groupes.

La désagrégation choisie permet d'étudier les seize autres groupes majeurs du secteur manufacturier en une trentaine d'agrégats d'industries.

Au Québec, une modélisation de la consommation énergétique des mines et de l'industrie forestière s'impose, d'abord parce que cette consommation n'est pas négligeable et ensuite parce que cette production est directement reliée à la consommation d'énergie du secteur des transports. Trois mines sont analysées en détail: fer, amiante et cuivre.

Pour toute production industrielle, le contexte technologique fait apparaître plusieurs types différents de besoins d'énergie interdépendants au travers des procédés et équipements employés.

Il y a d'abord les besoins directement liés à la production qui dépendent du type de procédé utilisé. Il y a ensuite les besoins auxiliaires qui sont liés à la taille des unités de production et à l'administration.

Pour les IGCE, les besoins directs liés à la production sont beaucoup plus importants que les besoins auxiliaires. Habituellement, pour chaque procédé, on retrouve les besoins énergétiques suivants:

- Besoins directs liés à la production:
  - besoins d'énergie thermique
    - haute température (four)
    - moyenne température (vapeur)
  - besoins d'électricité spécifique (électrolyse, moteur, etc.)
  - besoins de matière première: gaz, charbon, etc.

- Besoins auxiliaires:
  - chauffage, éclairage, climatisation, etc.

Le groupe des industries légères, quant à lui, ne peut souvent être étudié par procédé de production à cause de la grande diversité qu'on y trouve. On distingue donc quatre usages qui, au niveau des sous-groupes, peuvent avoir des définitions un peu différentes (ex.: four pour cuisson, four pour séchage). On y retrouve habituellement les usages suivants:

- l'électricité spécifique
- la vapeur (eau chaude)
- le four
- les usages divers (chauffage, éclairage, etc.)

Enfin, au niveau de l'industrie primaire, la consommation d'énergie doit, si possible, être reliée à la quantité d'unités physiques manipulées.

L'homogénéité du contexte physique n'est habituellement pas modélisée dans d'autres pays, en partie parce que l'industrie y est assez uniformément distribuée. Au Québec, il apparaît intéressant, sinon indispensable, de distinguer différentes zones géographiques en fonction de la localisation des unités de production. Cette information peut être utile:

- pour établir le potentiel gazier dans l'industrie;
- pour établir le potentiel des énergies nouvelles dans l'industrie (chauffage urbain, bois, solaire, etc.);
- pour prendre en compte les politiques d'aménagement et d'environnement (changement de procédé);
- pour relier la production industrielle aux besoins de transports.

Le classement en trois régions sert surtout à établir le potentiel de substitution interénergétique et l'impact des politiques gouvernementales en faveur du gaz.

La partition et l'organisation du secteur industriel tel que simulés dans le modèle apparaissent à la figure 1.

PARTITION ET ORGANISATION DU SECTEUR INDUSTRIEL

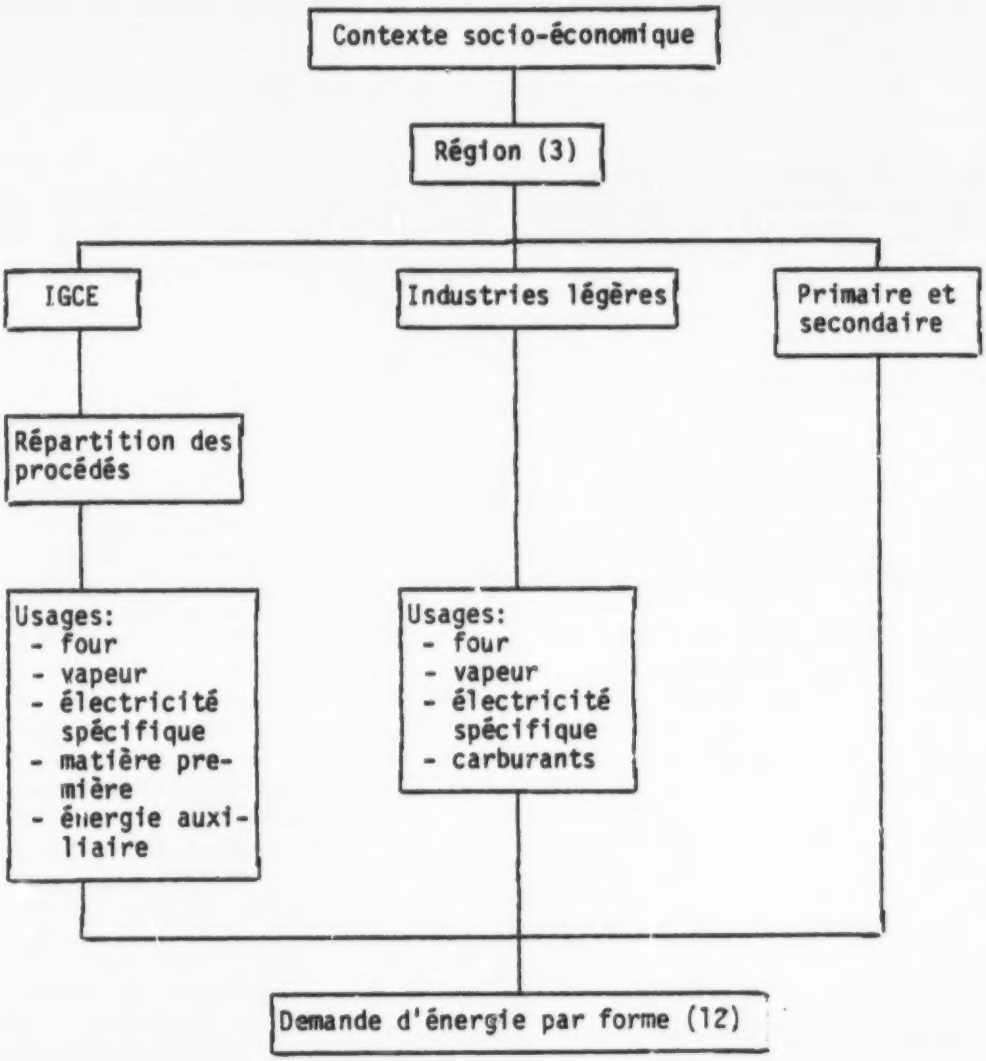


Figure 1

2. L'évolution de la demande d'énergie dans l'industrie

Afin d'illustrer la philosophie retenue dans le modèle pour décrire l'évolution de la demande d'énergie dans l'industrie, nous avons choisi de présenter brièvement les mécanismes de choix des formes finales d'énergie dans les IGCE.

Il ressort clairement que l'évolution de la demande d'énergie des industries dépend des facteurs suivants:

- de la croissance des industries;
- de l'évolution de la répartition de la production par procédés;
- de l'évolution des consommations spécifiques par procédé et par usage;
- du choix des formes d'énergie existantes.

2.1 La croissance industrielle

L'explication du premier facteur, soit la croissance des industries, dépasse largement le cadre du modèle et requiert une modélisation complexe que seule une équipe d'experts dans le domaine peut mener à biens La croissance industrielle est donc exogène dans le modèle de la prévision de la consommation énergétique.

La méthode des scénarios est particulièrement utile à ce niveau. La méthode consiste à utiliser un modèle préalablement choisi, afin de traduire en termes quantitatifs un ensemble de variables à partir des éléments de scénario préalablement définis. Dans MEDEE-Québec, on a utilisé principalement le modèle CHOIX de la Direction des études quantitatives du Bureau de la statistique du Québec. La qualité du groupe d'experts choisi est particulièrement importante pour définir correctement les politiques et les tendances industrielles québécoises, tout en tenant compte du contexte international, national et local.

Concrètement, on doit fournir au modèle l'accroissement de la production physique dans les IGCE et le taux de croissance des V.A. (valeurs ajoutées) par sous-groupe dans les industries légères et primaires. A ce niveau, tout le problème est de relier correctement l'accroissement de production ou les V.A. à l'intensité énergétique. Actuellement, ces relations sont simples: cela consiste le plus souvent à prendre une moyenne de quelques années typiques.

2.2 La répartition par procédé et par usage

En ce qui concerne les autres facteurs (répartition par procédé, consommations spécifiques et choix des formes d'énergie), la philosophie suivante est retenue: face à une hausse des prix de l'énergie ou à un changement de conjoncture, les réactions possibles des industriels cadreront dans l'algorithme qui suit:

- ils choisiront de maintenir ou non les équipements existants, ou les procédés existants. La durée de vie est évidemment un facteur déterminant;

- à équipement constant, l'action des industriels pour réduire les dépenses d'énergie sera de diminuer la consommation par des améliorations de rendement ou encore de modifier la composition des formes finales d'énergie;

- dans le cas où un équipement plus moderne est choisi, tous les déterminants économiques (prix de l'énergie par forme, prix d'acquisition, d'installation et d'utilisation) et extra-économiques (politique de l'environnement, disponibilité de l'énergie, etc.) vont jouer.

A chaque procédé établi est associée une demande captive et non captive. La demande captive correspond aux usages électriques, aux carburants, aux matières premières énergétiques (charbon, gaz, etc.). La demande d'énergie non captive (four, vapeur, etc.) est une demande substituable qui répond aux déterminants économiques du marché.

L'évolution de la demande d'énergie telle que vue par le modèle est schématisée dans la figure 2.

2.3. La demande finale d'énergie

La consommation réelle d'énergie finale est fonction des paramètres technologiques et des caractéristiques propres au procédé utilisé. Le calcul de la demande finale tient compte des récupérations internes et du rendement des appareils.

Les énergies substituables sont analysées en deux types de marché:

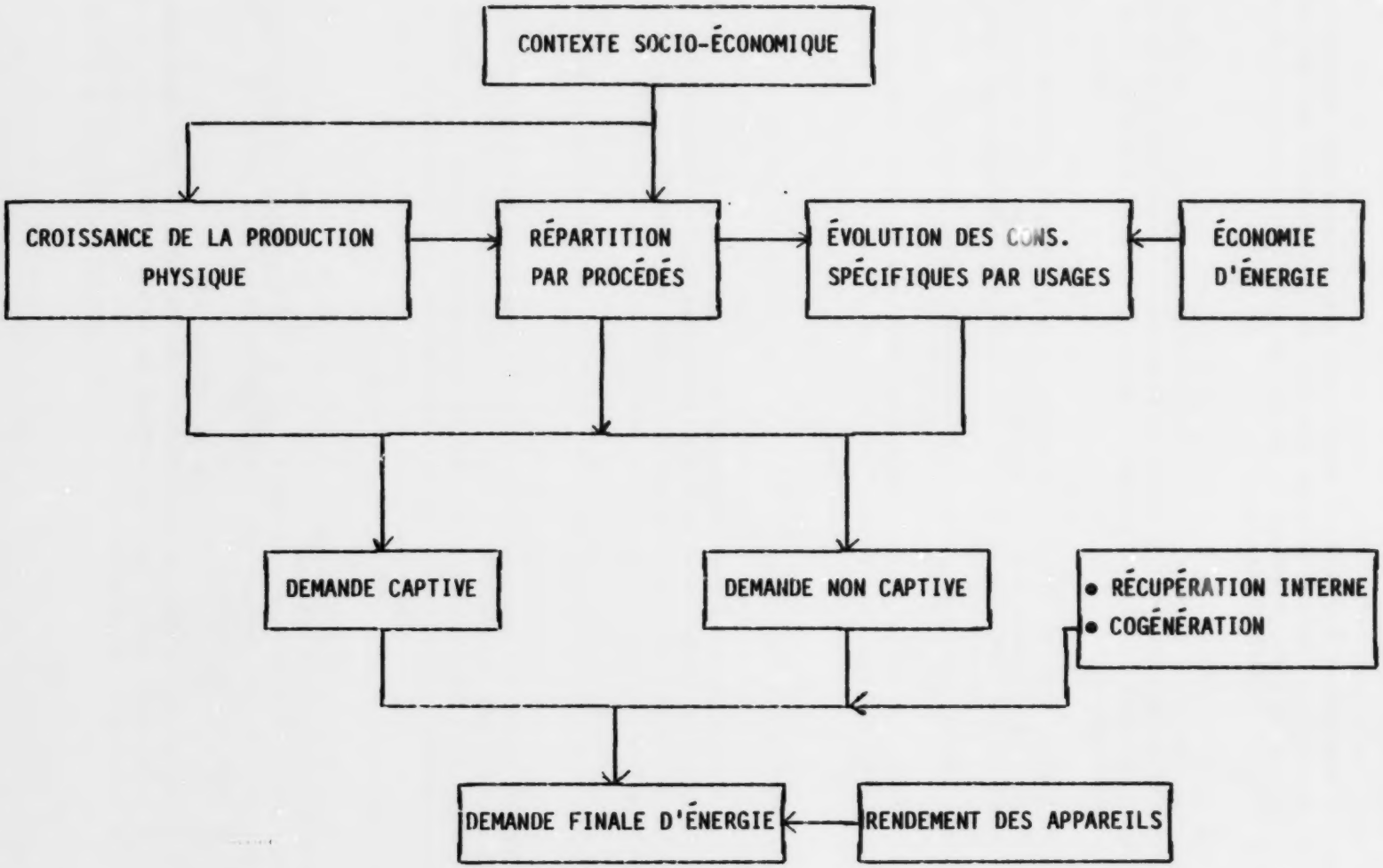
- les mazouts légers (basses températures)
- les mazouts lourds (basses et hautes températures).

Pour décrire l'évolution du marché des mazouts légers, le modèle de choix utilisé dans le commercial est employé. Deux évolutions sont analysées, soit le stock ancien et le stock construit après l'année de référence.

Pour décrire l'évolution du marché des mazouts lourds, l'hypothèse principale que nous faisons est que le choix des formes d'énergie est directement lié aux prix relatifs et à la disponibilité des formes d'énergie, ce qui suppose une compréhension des liens entre les systèmes d'offre et de demande.

Un mécanisme simple a été choisi pour simuler l'équilibre entre offre de produits pétroliers et demande de produits pétroliers. L'algorithme suivant est proposé:

ÉVOLUTION DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE DANS LES I.G.C.E.[1]



1. L'évolution de la demande d'énergie dans les "industries légères" est très semblable à ce schéma, seul l'item "Répartition par procédés" n'apparait pas.

Figure 2

- Les besoins de mazout léger pour tous les secteurs sont déterminés par un modèle de choix;

- les besoins de carburants et de mazout léger au Québec combinés à une politique de l'offre vont déterminer la disponibilité de mazout lourd au Québec. Cette politique de l'offre doit être caractérisée en termes de produits raffinés au Québec, en termes de quotas d'importation ou d'exportation de produits pétroliers et en termes de disponibilité des autres formes d'énergie;

- la différence entre la disponibilité de mazout lourd au Québec et les besoins de mazout lourd dans le transport, l'urbain et le primaire détermine la disponibilité de mazout lourd dans l'industrie manufacturière;

- en fonction des prix relatifs et des disponibilités des autres formes d'énergie, la demande de mazout lourd dans l'industrie manufacturière est fixée. Les parts des autres formes d'énergie en découlent.

La figure 3 schématise l'algorithme qui permet de déterminer la demande finale d'énergie par forme dans l'industrie. Douze types d'énergie sont analysés:

- mazout lourd
- mazout léger
- électricité
- gaz
- pompe à chaleur air-air
- pompe à chaleur eau-eau
- bois
- chauffage solaire
- équipement bi-énergie (mazout-électricité)
- chauffage urbain et énergie en cascades
- charbon

3. Les déterminants

C'est certainement dans le secteur industriel que les pouvoirs politiques peuvent le plus agir pour déterminer l'avenir. Dans le modèle, ces politiques ainsi que plusieurs autres déterminants interviennent à plusieurs niveaux:

a) Le premier niveau concerne les politiques industrielles. Il est clair, par exemple, qu'une politique interventionniste en faveur de l'implantation d'alumineries va avoir une influence déterminante sur la croissance électrique. De la même façon, des politiques d'encouragement au développement d'IGCE auront tendance à faire augmenter la consommation d'énergie du secteur industriel plus qu'un soutien aux industries traditionnelles (textile, meuble) qui sont moins consommatrices d'énergie. Il est clair que l'évolution industrielle est reliée au contexte socio-économique.

DEMANDE D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME D'ÉNERGIE DANS L'INDUSTRIE

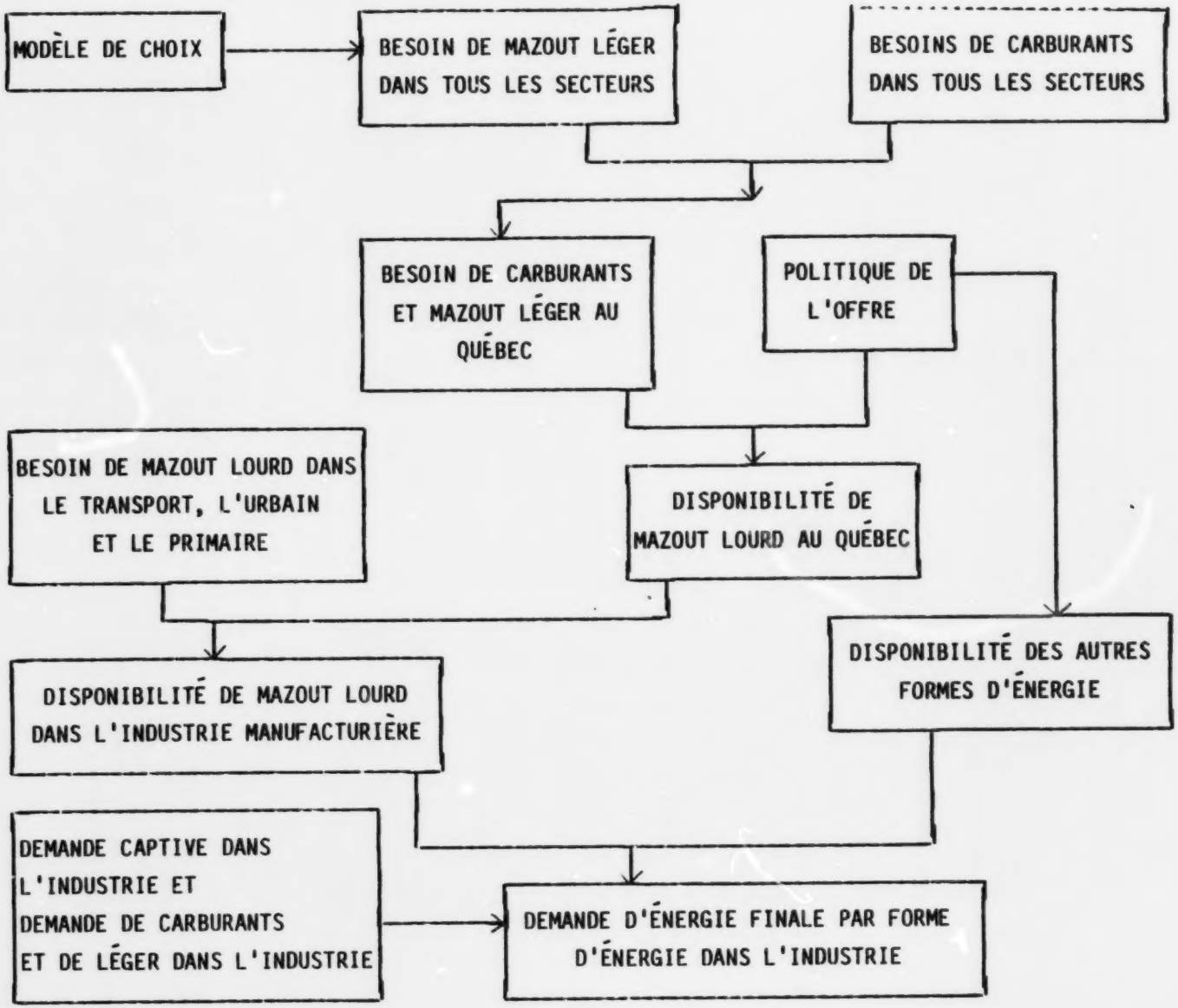


Figure 3

b) Le deuxième niveau reflète l'avance technologique. Des politiques concertées (gouvernement, entreprise privée) de recherche pour implanter de nouveaux procédés favoriseront des économies d'énergie dans certains cas ou une forme d'énergie dans d'autres cas (ex: four à plasma en sidérurgie). Egalement, ces recherches sont souvent liées aux politiques d'environnement (ex: le remplacement des procédés aux sulfites dans les pâtes et papiers).

c) Le troisième niveau se réfère aux politiques énergétiques. Ce sont d'abord des politiques d'économies d'énergie, principalement des programmes pour abaisser les dépenses énergétiques (programmes du type Energiebus). Dans le modèle, ces économies d'énergie doivent être spécifiées par usage pour chacun des prodécés. Prochainement, un contrôle sur l'investissement nécessaire pour réaliser ces économies d'énergie sera mis en place pour aider l'utilisateur à valider son scénario.

Les politiques interviennent ensuite dans la formation de l'énergie finale qui dépend essentiellement des prix de l'énergie, des subventions à la conversion et de l'offre d'énergie. Comme on l'a vu précédemment, cette offre est spécifiée en termes de disponibilité de mazout lourd et de gaz naturel. L'avance technologique dans les raffineries doit également être connue. La compréhension du comportement des vendeurs d'énergie est ici importante à connaître (par exemple, les politiques d'écoulement de l'électricité excédentaire de l'Hydro-Québec).

Finalement, il faut caractériser les programmes qui favorisent l'implantation des énergies nouvelles:

- recherche et développement
- subvention à la conversion
- programmes de démonstration
- etc.

La sensibilité de ces déterminants

Une analyse sommaire des premiers résultats obtenus avec le modèle industriel permet de dégager les principaux enseignements sur les déterminants qui devraient affecter la demande d'énergie de ce secteur. Ces résultats gravitent autour de deux scénarios économiques:

- Le premier est un scénario de forte croissance (3,2% en moyenne par année sur la période 1981-2006 pour le secteur industriel). Les politiques de pénétration de grandes industries (principalement les alumineries) sont encouragées au détriment des industries traditionnelles (textile, habillement, etc.).

- Le deuxième est un scénario de faible croissance économique (taux de croissance = 0% par an). Le protectionnisme envers les industries traditionnelles est maintenu.

Autour de ces deux scénarios de croissance, deux scénarios énergétiques sont simulés:

- grande disponibilité du gaz et remplacement du mazout lourd exclusivement par le gaz;

- politique sélective en faveur de l'électricité dans le remplacement du mazout lourd dans les secteurs de la sidérurgie, des pâtes et papiers et des produits chimiques.

Comme il fallait s'y attendre, le taux de croissance de la demande d'énergie de ce secteur est fortement relié à sa croissance économique (2,7% par an dans le scénario 1 sur la période 1979-2006 et 0,2% dans le scénario 2), ce qui est plus faible que le taux historique (2,8% sur la période 1961-1981) (1).

Dans le scénario 1, le rapport croissance d'énergie - croissance économique est plus fort que dans le passé (0,84 pour 1981-2006 et 0,64 pour 1961-1981). Ceci s'explique en partie par la pénétration d'industries dont l'intensité énergétique est plus grande.

Comme prévu aussi, la demande d'énergie par unité produite pour un secteur donné s'abaisse plus dans un scénario de forte croissance où de nouveaux procédés sont installés.

Dans le secteur industriel, les politiques énergétiques ont des incidences sensibles. Ainsi le scénario 1, relié à une politique gazière active, occasionne une quantification qui correspond pratiquement au potentiel maximal pour le gaz naturel. Cette pénétration est particulièrement importante si on la compare à la situation actuelle (17% en 1981, 32% en 2006). D'autre part, la part de l'électricité augmente peu (44% en 1981 et 46% en 2006). Cette part de l'électricité peut cependant être augmentée significativement par des mesures incitatrices dans certains secteurs (subvention à la conversion, prix plus faible, etc.).

Ainsi, en supposant que l'électricité remplace les fours à gaz dans la sidérurgie, une partie des fours à mazout dans le secteur chimique et les pâtes et papiers (50%), une grande partie des usages actuels au mazout dans les industries légères (50%) ainsi que le mazout léger encore utilisé dans notre scénario actuel en 2006, le bilan énergétique du secteur industriel est passablement différent en fin de période.

Ce scénario, qui n'est pas encore un potentiel maximal pour l'électricité, fait grimper la part de l'électricité à plus de 56% de la consommation du secteur industriel en 2006 dans le scénario 1, et à près de 60% dans le scénario 2.

---

(1) Les principaux résultats sont présentés en annexe.

En contrepartie, toujours dans le secteur industriel, le gaz obtient une part beaucoup moins importante (23% en 2006 dans le scénario 1 au lieu de 32%, et 18% au lieu de 28% dans le scénario 2).

Evidemment, ces scénarios ne sont pas les seuls envisageables. Ils donnent cependant un aperçu des combinaisons possibles d'hypothèses et de la flexibilité du modèle à les simuler.

CONCLUSION

Pour l'analyse énergétique, le modèle industriel présenté est, à notre connaissance, un des plus désagrégés qui existent. En prenant un soin particulier à la construction de scénarios, il est par conséquent possible de simuler un grand nombre de mesures politiques ou économiques. Dans le domaine énergétique, il est possible de combiner offre et demande d'énergie, ce qui est certainement une originalité. Avec le temps, ce modèle a permis de constituer une banque de données techniques importante. Tous ces éléments réunis ensemble font, qu'à notre avis, le modèle industriel de MEDEE-3 Québec est un outil valable d'analyse de l'évolution de la demande d'énergie de ce secteur.

*
* *

ANNEXE

Les tableaux A-3 et A-4 présentent la répartition possible de la demande énergétique dans le secteur industriel selon les cinq filières énergétiques (pétrole léger et lourd, gaz naturel, électricité et énergies nouvelles).

Les résultats présentés ne doivent être interprétés qu'en fonction des scénarios et simulations construits au préalable. L'évolution de quelques variables économiques utilisées apparaissent dans les tableaux A-1 et A-2.

TABLEAU A-1
Valeur ajoutée par secteur: Scénario 1
(en millions de dollars de 1971)

Secteurs	1981	1996	2001	2006	Taux de croissance annuel moyen (en %) 1981-2006
Primaire	935	1 428	1 715	2 060	3,2
Construction	1 325	2 125	2 488	2 912	3,2
Manufacturier	6 786	10 824	12 635	14 818	3,2
dont:					
papier	720	953	1 097	1 262	2,3
Première transformation des métaux	591	1 165	1 295	1 476	3,7
dont:					
sidérurgie	[130]	[151]	[159]	[167]	[1,0]
fonte et affinage	[355]	[810]	[883]	[993]	[4,2]
Minéraux non métalliques	168	270	315	369	3,2
Produits chimiques	372	580	672	779	3,0

TABLEAU A-2

Valeur ajoutée par secteur: Scénario 2

(en millions de dollars de 1971)

Secteurs	1981	1996	2001	2006	Taux de croissance annuel moyen (en %) 1981-2006
Primaire	935	938	955	973	0,2
Construction	1 325	1 229	1 199	1 169	- 0,5
Manufacturier	6 786	7 260	7 379	7 512	0,4
dont:					
papier	720	727	790	858	0,7
Première transformation des métaux	591	936	936	936	1,9
dont:					
sidérurgie	[130]	[130]	[130]	[130]	0,0
fonte et affinage	[355]	[660]	[660]	[660]	2,5
Minéraux non métalliques	168	145	137	131	- 1,0
Produits chimiques	372	372	372	372	0,0

TABLEAU A-3

Demande d'énergie par forme: Scénario 1 (Industries)

(en pétajoules)

		1996		2001		2006	
	1981	A	B	A	B	A	B
(1) Electricité	196	324	357	355	412	398	470
(2) Pétrole léger	18	13	0	14	0	15	0
(3) Pétrole lourd	119	83	83	77	77	72	72
(4) Gaz	77	218	182	242	183	275	198
(5) Autres*	108	196	196	224	224	250	250
Total 1**	518	835	818	912	890	1009	982
Total 2***	451	710	693	770	754	854	835

TABLEAU A-4

Demande d'énergie par forme: Scénario 2 (Industries)

(en pétajoules)

		1996		2001		2006	
	1981	A	B	A	B	A	B
(1) Electricité	196	216	242	225	266	229	277
(2) Pétrole léger	18	13	0	13	0	12	0
(3) Pétrole lourd	119	56	56	55	55	55	55
(4) Gaz	77	140	114	135	96	134	85
(5) Autres*	108	132	132	141	141	142	142
Total 1**	518	558	541	568	553	573	554
Total 2***	451	477	460	477	462	480	461

* Autres: bois + charbon + diésel. Les consommations de charbon sont plus élevées que celles présentées dans statistique Canada.

** Total 1: (1) + (2) + (3) + (4) + (5).

*** Total 2: total 1 - bois - charbon supplémentaire.